



La crisi degli antibiotici

DOSSIER

L'Italia
è uno dei paesi
più colpiti dalla
resistenza a questi
farmaci, un problema
di salute globale
da affrontare con
strategie innovative

Astronomia

Vent'anni di successi del
Chandra X-ray Observatory

Fisica

I buchi neri e il paradosso dell'informazione

Economia

Misurare la distribuzione disuguale della ricchezza

POSTE ITALIANE SPED. IN A.P. - D.L. 353/2003
CONV. L. 46/2004, ART. 1, C. 1, DCB - ROMA
RIVISTA MENSILE - NUMERO 000 - 1 FEBBRAIO 2020



Pink Lady®

NATURA RISPETTATA

I produttori Pink Lady® si impegnano a privilegiare i metodi naturali di protezione dei frutteti nel rispetto dell'ambiente e della salute.



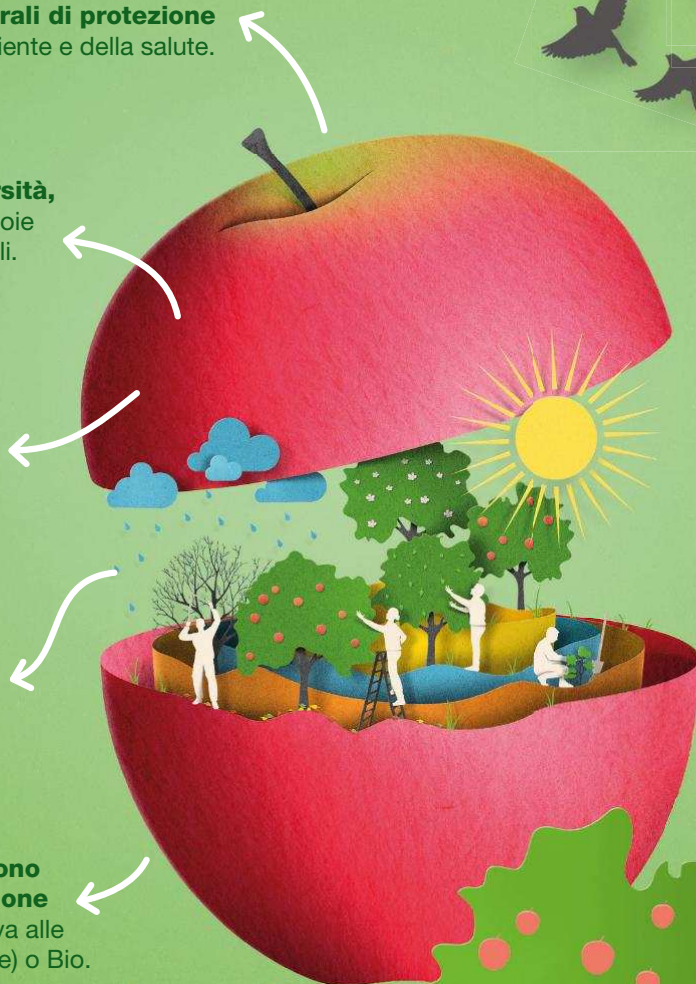
Preservano la biodiversità, favorendo i ricoveri e le mangiatoie (nidi, siepi) per gli insetti utili.



Grazie al programma Bee Pink, produttori e apicoltori condividono le buone pratiche utili alla protezione degli insetti impollinatori.

I prodotti biologici o di sintesi vengono utilizzati solo in caso di minaccia del raccolto, e con estrema cautela.

Tutti i produttori possiedono la certificazione di produzione integrata GLOBAL GAP (relativa alle buone pratiche agricole) o Bio.



Per maggiori informazioni visitate il sito:
www.pinkladyeurope.com

Molto più di una mela

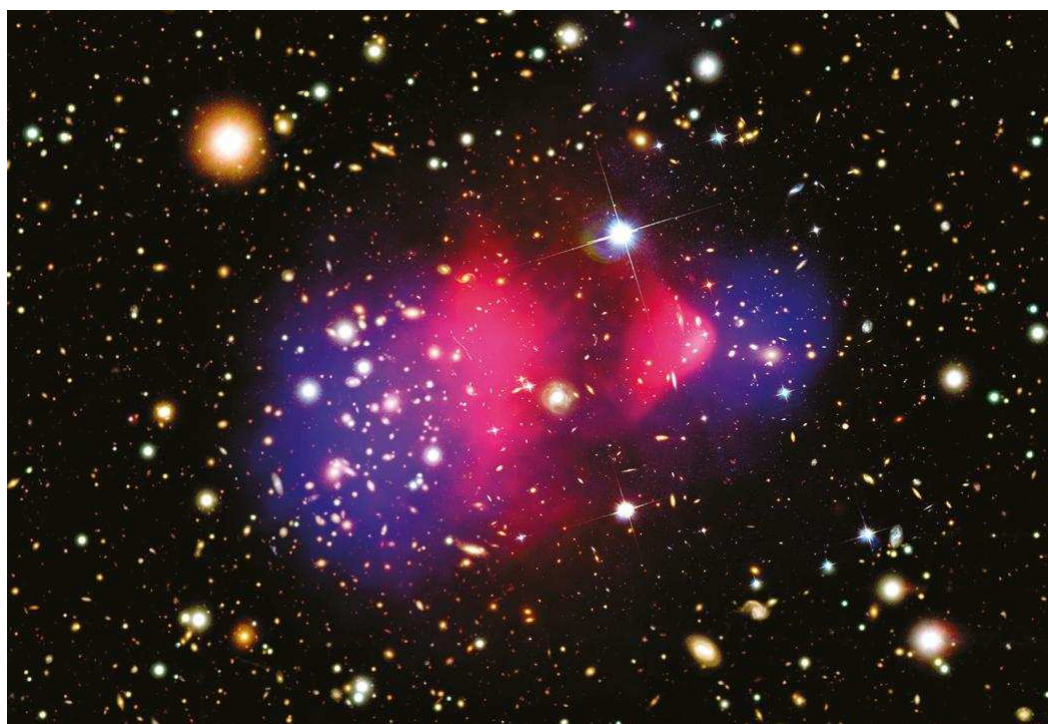


in copertina

Vaccini e virus batteriofagi potrebbero risolvere il grave problema dei batteri patogeni che resistono all'azione degli antibiotici
(Lewis Houghton/SPL/AGF)

Sommario

Febbraio 2020 numero 618



80 ASTRONOMIA **Vista a raggi X**

di Belinda J. Wilkes

Dopo due decenni nello spazio il più importante telescopio a raggi X del mondo, il Chandra Observatory, continua a rivelare nuovi segreti del cosmo

FISICA

28 **Fuga da un buco nero**

di Steven B. Giddings

Per salvare la meccanica quantistica, l'informazione deve liberarsi dai buchi neri. Nuove osservazioni potrebbero aiutarci a capire come questa fuga sia possibile

SALUTE PUBBLICA

36 **Il costo dei batteri**

di Alessandro Cassini e Michele Cecchini

La resistenza agli antibiotici causa un numero di decessi record in Italia e pesa sempre di più sulle casse del sistema sanitario

44 **Vaccini in aiuto agli antibiotici**

di Roberta Villa

Già oggi, e sempre più in futuro, le vaccinazioni possono contribuire alla strategia integrata che è necessario mettere in atto per fronteggiare la grave crisi di efficacia degli antibiotici

48 **Quale futuro per la terapia fagica?**

di Charles Schmidt

Un trattamento ideato oltre un secolo fa torna a essere considerato nella lotta alle infezioni mortali causate da batteri resistenti ai farmaci

ECONOMIA

56 **Misurare la disuguaglianza**

di Bruce M. Boghosian

Un nuovo approccio sviluppato da fisici e matematici descrive con una precisione senza precedenti la distribuzione della ricchezza nelle economie moderne

PALEOANTROPOLOGIA

64 **Un volto dalle profondità del tempo**

di Kate Wong

Un cranio fossile che si cercava da tempo potrebbe ridisegnare l'albero genealogico umano

TECNOLOGIA

66 **I ragazzi stanno bene**

di Lydia Denworth

Nuovi risultati scientifici suggeriscono che la preoccupazione per i social media sia ingiustificata, e che per capire gli effetti che hanno sul benessere sia necessaria un'analisi più articolata

SOSTENIBILITÀ

72 **Conservare l'ambiente dopo un conflitto**

di Rachel Nuvner

Dopo cinquant'anni di guerriglia, ora la Colombia vuole creare un'economia basata sulla propria biodiversità



10



12



17

7 Editoriale

di Marco Cattaneo

8 In edicola

10 Intervista

Un futuro di energia oscura di Marco Motta

12 Made in Italy

Costruire case con mattoni di paglia di Letizia Gabaglio

14 Il matematico impertinente

Matematica gattopardesca di Piergiorgio Odifreddi

15 Scienza e filosofia

Una specie ammansita di Telmo Pievani

16 Homo sapiens

Una nuova datazione per H. erectus di Giorgio Manzi

17 La finestra di Keplero

L'acuto sguardo di CHEOPS di Amedeo Balbi

88 C coordinate

Imitazioni a confronto di Mark Fischetti

89 Povera scienza

Stelle esplosive di Paolo Attivissimo

90 La ceretta di Occam

Il compromesso di Palau di Beatrice Mautino

91 Pentole & provette

Piccoli esperimenti col tè di Dario Bressanini

92 Rudi matematici

Sempre si vince... ma come?

di Rodolfo Clerico, Piero Fabbri e Francesca Ortenzio

94 Libri & tempo libero

SCIENZA NEWS

18 Eolo soffia anche su Marte

20 Da vicino il Sole è diverso

20 Trasferire calore nel vuoto, senza luce

21 XAI, come fai?

21 Test superato per le «vele di luce» spaziali

22 Chi modella la biodiversità

22 I cambiamenti fisici degli animali addomesticati

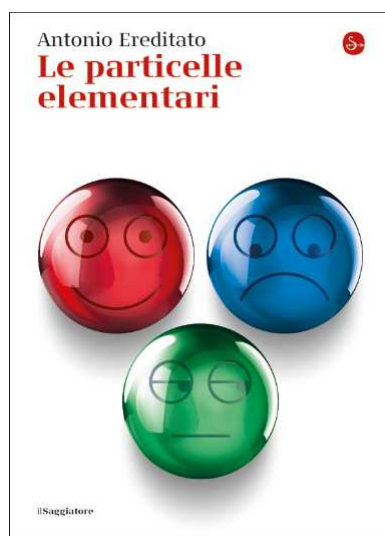
24 Quanto sono vicini i punti di non ritorno?

24 Due rami principali per l'albero della vita

26 Brevissime



NOVITÀ



ilSaggiatore



Per capire noi stessi e il mondo in cui viviamo.

IL MENSILE DI PSICOLOGIA E NEUROSCIENZE

le Scienze

N. 182 - ANNO XVIII - FEBBRAIO 2020 - 6,00 EURO

MIND

MENTE & CERVELLO

Il tabù del piacere femminile

*Censurato e persino demonizzato fin dall'antichità,
l'orgasmo delle donne è ancora oggi un argomento scabroso*



46 **Società**
Pericolo deep fake

54 **Psicologia**
Si fa presto a dire Asperger

78 **Neuroscienze**
La verità sui mancini

DOSSIER IL PIACERE FEMMINILE

SOCIETÀ PERICOLO DEEP FAKE / **NEUROSCIENZE** LA VERITÀ SUI MANCINI

BAMBINI LA LINGUA SI IMPARA NELL'UTERO / **PSICOLOGIA** SI FA PRESTO A DIRE ASPERGER

IN EDICOLA IL NUMERO DI **FEBBRAIO**

MIND

SCOPRI I CONTENUTI ESCLUSIVI E TUTTI GLI APPROFONDIMENTI SUL NUOVO SITO [LESCIENZE.IT/MIND](https://lescienze.it/mind)





La percezione che ci inganna

Un'analisi di pericoli mortali e impatti di tecnologie solleva il velo sui nostri pregiudizi cognitivi

A spiegarci che noi esseri umani non siamo proprio animali razionali, come sperava quel gran ottimista di Aristotele, sono stati Daniel Kahneman e Amos Tversky. Che quarant'anni fa, con l'articolo *Prospect Theory: An Analysis of Decision Under Risk*, pubblicato su «Econometrica», riuscirono a dimostrare che i nostri processi decisionali violano sistematicamente i criteri di razionalità. Certo, loro parlavano di economia e finanza, ma hanno avuto il merito di sollevare il velo sui nostri pregiudizi cognitivi, sulla cronica incapacità di interpretare dati statistici, di immaginare grandi numeri, di valutare i rischi.

Circola in rete, in varie declinazioni, una lista interessante. Che parte da una domanda. Qual è il primo animale pericoloso che ti viene in mente? Non ho fatto analisi statistiche, ma la sottopongo spesso a platee piuttosto nutrite. Tra le risposte più gettonate ci sono i leoni, o altri grandi felini, gli squali. Solo qualcuno ci va vicino, con i serpenti, che sono al terzo posto; si stima che facciano 100.000 vittime l'anno. Uno o due pensano alle zanzare, che sono di gran lunga in testa alla graduatoria. E a nessuno, ma proprio nessuno, verrebbero mai in mente le lumache d'acqua dolce, gli insospettabili ospiti intermedi del parassita che causa la schistosomiasi.

Che c'entra tutto questo con questo numero di «Le Scienze»? Nulla, ma solo all'apparenza. Scorrendo il sommario però mi sono accorto una volta di più di come spesso la percezione distorta dei pericoli condiziona le nostre preoccupazioni individuali e, peggio, le scelte politiche. A pagina 66, per esempio, trovate un articolo di Lydia Denworth intitolato *I ragazzini stanno bene*. Si parla delle grandi preoccupazioni del

momento. Davvero passare tanto tempo sullo *smartphone* influisce negativamente sul benessere delle nuove generazioni? Al punto da fare titoli di giornali in cui il telefonino è paragonato a una droga?

Ecco, una recente meta-analisi degli studi in materia ha evidenziato «che il calo di benessere negli adolescenti causato dalla tecnologia non era superiore a quello causato dal fatto di mangiare patate». Secondo Jeff Hancock, direttore del Social Media Lab della Stanford University, «l'uso dei *social media* è in buona sostanza uno scambio. Si ottengono vantaggi molto piccoli ma significativi per il proprio benessere, che hanno costi molto piccoli ma statisticamente significativi».

Al contrario, la penetrazione nei media e nell'opinione pubblica del problema della resistenza agli antibiotici, a cui dedichiamo la copertina, è quasi irrilevante. Tutt'al più finisce sulle riviste specializzate, negli inserti di salute dei quotidiani o nelle rubriche di medicina della TV. E invece, come raccontano Alessandro Cassini e Michele Cecchini a pagina 36, si stima che in Italia la resistenza agli antibiotici provochi 200.000 infezioni e oltre 10.000 morti all'anno, con un costo elevatissimo per il sistema sanitario nazionale. Siamo il paese più colpito dell'OCSE. Nel dossier che pubblichiamo, Roberta Villa e Charles Schmidt delineano alcune strategie per cercare di contenere la resistenza, nella speranza che vengano sviluppati nuovi presidi terapeutici.

Ma il problema è un altro. Perché diavolo si fa tanto parlare dei pericoli quasi inesistenti dei social network, e pochi si preoccupano di dare voce a un problema che già oggi causa tre volte più morti degli incidenti stradali?

Comitato scientifico

Leslie C. Aiello
presidente, Wenner-Gren Foundation for Anthropological Research

Roberto Battiston
professore ordinario di fisica sperimentale, Università di Trento

Roger Bingham
docente, Center for Brain and Cognition, Università della California a San Diego

Edoardo Boncinelli
docente, Università Vita-Salute San Raffaele, Milano

Arthur Caplan
docente di bioetica, Università della Pennsylvania

Vinton Cerf
Chief Internet Evangelist, Google

George M. Church
direttore, Center for Computational Genetics, Harvard Medical School

Rita Colwell
docente, Università del Maryland a College Park e Johns Hopkins Bloomberg School of Public Health

Richard Dawkins
fondatore e presidente, Richard Dawkins Foundation

Drew Endy
docente di bioingegneria, Stanford University

Ed Felten
direttore, Center for Information Technology Policy, Princeton University

Kaighan J. Gabriel
presidente e CEO, Charles Stark Draper Laboratory

Harold Garner
direttore, divisioni sistemi e informatica medici, docente, Virginia Bioinformatics Institute, Virginia Tech

Michael S. Gazzaniga
direttore, Sage Center for the Study of Mind, Università della California a Santa Barbara

David Gross
docente di fisica teorica, Università della California a Santa Barbara (premio Nobel per la fisica 2004)

Danny Hillis
co-presidente, Applied Minds, LLC

Daniel M. Kammen
direttore, Renewable and Appropriate Energy Laboratory, Università della California a Berkeley

Vinod Khosla
Partner, Khosla Ventures

Christof Koch
presidente dell'Allen Institute for Brain Science di Seattle

Lawrence M. Krauss
direttore, Origins Initiative, Arizona State University

Morten L. Kringelbach
direttore, Hedonia: TrygFonden Research Group, Università di Oxford e Università di Aarhus

Steven Kyle
docente di economia applicata e management, Cornell University

Robert S. Langer
docente, Massachusetts Institute of Technology

Lawrence Lessig
docente, Harvard Law School

John P. Moore
docente di microbiologia e immunologia, Weill Medical College, Cornell University

M. Granger Morgan
docente, Carnegie Mellon University

Miguel Nicolelis
condirettore, Center for Neuroengineering, Duke University

Martin Nowak
direttore, Program for Evolutionary Dynamics, Harvard University

Robert Palazzo
docente di biologia, Rensselaer Polytechnic Institute

Telmo Pievani
professore ordinario filosofia delle scienze biologiche, Università degli Studi di Padova

Carolyn Porco
leader, Cassini Imaging Science Team, e direttore, CICLOPS, Space Science Institute

Vilayanur S. Ramachandran
direttore, Center for Brain and Cognition, Università della California a San Diego

Lisa Randall
docente di fisica, Harvard University

Carlo Alberto Redi
docente di zoologia, Università di Pavia

Martin Rees
docente di cosmologia e astrofisica, Università di Cambridge

John Reganold
docente di scienza del suolo, Washington State University

Jeffrey D. Sachs
direttore, The Earth Institute, Columbia University

Eugenie C. Scott
Founding Executive Director, National Center for Science Education

Terry Sejnowski
docente e direttore del Laboratorio di neurobiologia computazionale, Salk Institute for Biological Studies

Michael Shermer
editore, rivista «Skeptic»

Michael Snyder
docente di genetica, Stanford University School of Medicine

Giorgio Vallortigara
docente di neuroscienze, direttore associato, Centre for Mind/Brain Sciences, Università di Trento

Lene Vestergaard Hau
docente di fisica e fisica applicata, Harvard University

Michael E. Webber
direttore associato, Center for International Energy & Environmental Policy, Università del Texas ad Austin

Steven Weinberg
direttore, gruppo di ricerca teorica, Dipartimento di fisica, University del Texas ad Austin (premio Nobel per la fisica 1979)

George M. Whitesides
docente di chimica e biochimica, Harvard University

Nathan Wolfe
direttore, Global Viral Forecasting Initiative

Anton Zeilinger
docente di ottica quantistica, Università di Vienna

Jonathan Zittrain
docente di legge e computer science, Harvard University

Romanzo matematico

Una delle grandi scommesse di chi si occupa di divulgazione della matematica è vincere la paura del pubblico nei confronti di questa scienza. Ed è così che nascono *format*, approcci, soluzioni mirati a rendere la matematica affascinante, coinvolgente, interessante. Insomma, una di noi. Uno scommettitore di talento in questo senso è il matematico francese Mickaël Launay, laureatosi alla prestigiosa École Normale Supérieure, classe 1984.

Qualche anno fa, era il 2013, Launay ha iniziato a spiegare concetti e curiosità matematiche sul suo canale YouTube. Pochi anni dopo si è ritrovato con 335.000 iscritti e 150 video pubblicati. Oggi gli utenti registrati sul suo profilo sono 448.000 e gli ascolti sono stellari (per dire, un video sulla faccia nascosta delle tabelline ha totalizzato finora 3,9 milioni di visualizzazioni).

Vinta la scommessa sui *social media*, Launay si è dedicato al vecchio medium della carta stampata. Nasce così *Il grande romanzo della matematica*, libro allegato a richiesta con «Le Scienze» di marzo. Nel testo Launay racconta, (sì, racconta, non spiega) la matemati-

ca optando per lo stile del romanzo, da qui il titolo, condito con una buona dose di affabulazione. L'impianto è quello storico. Si comincia dalla preistoria, con un'illuminante digressione sulle geometrie dei bifacciali, le pietre scheggiate usate dai nostri lontani antenati per usi molteplici, per arrivare, dopo un lungo cammino, ai giorni nostri, tra frattali e avvenimento delle macchine.

In tutto questo, i personaggi che hanno scritto questa storia millenaria rimangono in secondo piano, come semplici comparse. La vera protagonista è lei: la matematica. Il romanzo di Launay, inoltre, prende spesso spunto da esperienze personali dell'autore. Così, grazie a questo stratagemma, risalta ancora di più la presenza diffusa della matematica nel quotidiano delle nostre vite. E forse allora quella paura che molti hanno, e che spesso si accompagna anche con un fascino quasi tenebroso, svanirà. Dopo tutto, non è necessario essere cuochi per saper apprezzare la buona cucina, scrive Launay. Dunque non dobbiamo essere per forza dei matematici o avere delle intelligenze eccezionali per lasciarsi raccontare la matematica.

QUADERNI

A caccia del gemello perfetto della Terra

Il nuovo titolo della collana *I quaderni de Le Scienze* è *In cerca di altri mondi*, ovvero la caccia ai pianeti extrasolari, nella speranza di trovare il gemello perfetto della Terra. Come gli altri già pubblicati, anche questo quaderno è esclusivamente digitale – in formato PDF interattivo, scaricabile e stampabile – e raccoglie alcuni dei migliori articoli, italiani e internazionali, pubblicati nell'edizione cartacea e in quella on line della rivista su un tema di attualità scientifica. I singoli quaderni possono essere acquistati a 3,99 euro sul nostro sito web: <https://www.lescienze.it/plus/edicola/collane/quaderni.jsp>. Gli argomenti già pubblicati riguardano materia oscura, impatto del riscaldamento globale su Artide e Antartide, coscienza, Neanderthal e intelligenza artificiale.



RISERVATO AGLI ABBONATI

Grande novità per tutti gli abbonati:

è on line il nuovo sito

www.ilmioabbonamento.gedi.it

dove è possibile acquistare i prodotti in uscita con Le Scienze allo stesso prezzo dell'edicola. Registrandosi sul sito inoltre è possibile usufruire di sconti sugli abbonamenti del Gruppo GEDI e grandi opportunità anche per l'acquisto di collane. Rimane sempre attivo il nostro Servizio Clienti al numero 0864.256266 dal Lunedì al Venerdì dalle 9-18.

Il silenzio è una chiave che ci consente di accedere a nuovi modi di pensare

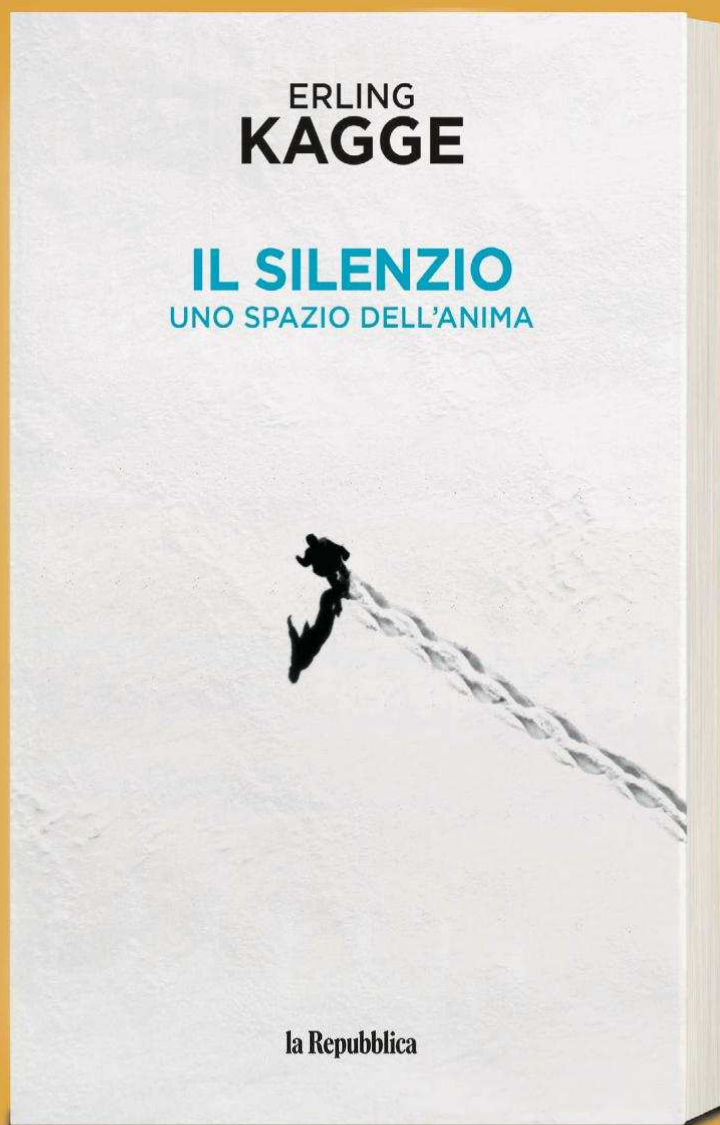
(Erling Kagge)

WOLTER

Segui su  le Iniziative Editoriali

iniziative.editoriali.repubblica.it

Uscita unica a 9,90 € in più



**UN SUCCESSO
INTERNAZIONALE.
Pubblicato in 20 paesi.**

**NELL'ERA DEL RUMORE, IL SILENZIO È SOTTO ATTACCO.
QUESTO LIBRO È UN'ESORTAZIONE A CERCARLO E A DIFENDERLO.**

Viviamo in un mondo di caos e frastuono, in cui la distrazione è ormai uno stile di vita e il silenzio un vuoto da riempire. Erling Kagge nel corso delle sue esplorazioni tra il Polo Sud e l'Everest ha imparato a far propri gli spazi e i ritmi della natura, regalandoci una testimonianza del valore del silenzio come chiave per comprendere più a fondo la vita.

IN EDICOLA

la Repubblica

Un futuro di energia oscura

Alla fine del secolo scorso, la comunità scientifica fu spiazzata dalle notizie provenienti dalle profondità del cosmo. Contrariamente a quello che i cosmologi avevano creduto fino ad allora, i dati raccolti da due gruppi di ricerca indipendenti studiando le supernove Ia (un tipo particolarmente luminoso di supernove distanti) dimostrarono che l'espansione dell'universo sta accelerando. Sul palcoscenico della cosmologia faceva la sua comparsa l'energia oscura, la forza che si ritiene responsabile di questa accelerazione ma la cui natura rimane ancora oggi misteriosa. Con Saul Perlmutter torniamo a parlare di quella storica scoperta, di cui è stato uno degli autori, e guardiamo alle sfide aperte oggi in cosmologia.

Come decise di dedicarsi allo studio delle supernove?

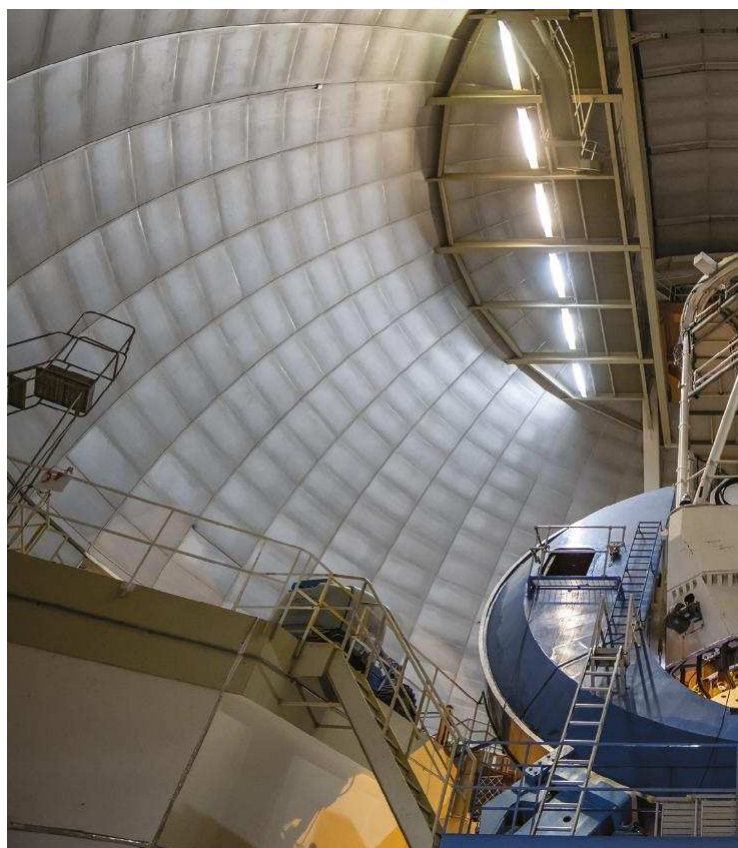
Desideravo lavorare su progetti che potessero dirci qualcosa di filosoficamente profondo sul mondo in cui viviamo. E non era facile trovare qualcosa di simile. Quando mi si presentò l'occasione di lavorare su questo progetto, pensai che era proprio quello che stavo cercando. Si trattava di misurazioni molto pratiche, anche se complesse da effettuare, di luminosità, colori e spettri delle supernove Ia. Ma le implicazioni sarebbero state interessanti: potevamo capire se il nostro universo è destinato a durare per sempre o invece a collassare. E pensai: che cosa c'è di più profondo filosoficamente di chiedersi se l'universo un giorno avrà fine? E poi giravano in quegli anni fumetti divertenti sulle credenze millenariste e pensai che era proprio il momento giusto per fare questo tipo di ricerche.

Quale fu la sua reazione quando si rese conto del significato di dati?

Il progetto si dimostrò subito molto ambizioso, invece dei tre anni che avevamo stimato ce ne vollero dieci per raccogliere tutti i dati e iniziare le analisi. Di fronte al quadro generale che emergeva pensammo di aver commesso qualche errore. Così raffinammo e ricontrollammo tutte le analisi, ma più dettagli aggiungevamo più si consolidava la conclusione che l'espansione dell'universo stava accelerando. Dopo circa sette mesi di controlli e verifiche ci arrendemmo all'evidenza: dico sempre che è stato probabilmente l'*eureka* più lento che si sia mai visto.

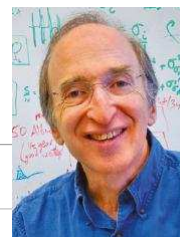
L'accettazione di un cambiamento così radicale per la cosmologia da parte della comunità scientifica invece fu piuttosto veloce.

Mi piace pensare che in parte sia dovuto alla grande cura che abbiamo messo nel fare tutti i controlli possibili. Ma è anche un esempio istruttivo di come funziona la scienza: c'era un'accesa



competizione tra il mio gruppo e quello di Brian Schmidt e Adam Riess, ognuno cercava di scovare continuamente errori nel lavoro altrui e questo generava fiducia nella qualità del nostro lavoro collettivo. Così quando dopo poche settimane dalla presentazione dei nostri risultati, l'altro gruppo annunciò di aver ottenuto i medesimi risultati in maniera indipendente, veder convergere due collaborazioni che avevano fatto di tutto per distinguersi fece davvero la differenza.

Nel giro di tre mesi partecipammo entrambi a una conferenza dove fummo sottoposti a un fuoco di fila di osservazioni su tutti i possibili errori che potevamo aver commesso. Replicammo a tutte le obiezioni e alla fine della conferenza circa due terzi dei presenti si disse già convinta dai nostri risultati, ed entro la fine dell'anno gran parte della comunità scientifica aveva accettato la nuova vi-



CHI È
SAUL PERLMUTTER

È *senior scientist* del Lawrence Berkeley National Laboratory e professore di fisica all'Università della California a Berkeley, dove si è svolta tutta la sua carriera scientifica, dopo la laurea ad Harvard.

Le ricerche realizzate alla guida del Supernova Cosmology Project negli anni novanta gli sono valse il premio Nobel per la fisica nel 2011, insieme a Brian Schmidt e Adam Riess, per la scoperta dell'espansione accelerata dell'universo

tramite lo studio delle supernove distanti. Oggi è anche direttore del Berkeley Institute for Data Science, direttore esecutivo del Berkeley Center for Cosmological Physics e membro della National Academy of Sciences.



Sguardo sull'universo.

Il Mayall Telescope del Kitt Peak National Observatory, in Arizona, che ospita l'esperimento DESI per lo studio dell'energia oscura.

del Large Synoptic Survey Telescope e infine anche il progetto su cui ho lavorato dal 2011 in poi, il Wide Field Infrared Survey Telescope. Finora sappiamo di non poter dire molto sulla natura dell'energia oscura e ancora oggi valgono diverse ipotesi alternative, che si tratti di una sorta di mormorio del vuoto quantistico oppure di un nuovo tipo di campo. Ci sono diverse possibilità, e io sono totalmente aperto a quello che scopriremo. Magari anche con le nuove misurazioni sarà difficile capirci qualcosa, ma io sono ottimista, e spero che siamo vicini a una svolta.

Negli ultimi anni diversi esperimenti hanno fornito misure discordanti della costante di Hubble, che esprime il tasso di espansione dell'universo. È un errore nelle misurazioni, o l'indizio che il modello cosmologico attuale andrebbe ripensato?

Penso che un aspetto della scienza non sempre ovvio è che quasi tutti gli scienziati cercano continuamente di capire dove abbiamo sbagliato. Sulle misurazioni discordanti della costante di Hubble ci sono ancora molte domande che ci possiamo porre per capire se è stato commesso qualche errore. Se dovessi fare una scommessa oggi, direi che probabilmente salterà fuori che c'è stato qualche fraintendimento sulle misurazioni, perché è molto più frequente incappare in un errore che non scoprire che la teoria è sbagliata. Se invece saremo fortunati, arriveremo a dover rimettere mano alla teoria.

sione. E questi sono davvero tempi veloci quando si tratta di valutare sorprese di questa portata nel mondo della scienza.

Sono passati più di vent'anni dalla vostra scoperta ma la natura dell'energia oscura rimane ancora avvolta nel mistero. Potremmo essere vicini a nuove scoperte?

Dopo la nostra scoperta capimmo ben presto che ci aspetta un lavoro imponente per capire meglio la natura dell'energia oscura. Negli ultimi vent'anni abbiamo messo a punto una nuova serie di tecniche di misurazione per le supernove e non solo. E adesso siamo molto eccitati nel vedere che cosa accadrà nei prossimi 5-10 anni, quando arriveranno innanzitutto i dati del Dark Energy Spectroscopic Instrument (DESI), e degli esperimenti che analizzano le oscillazioni acustiche barioniche, poi sarà il turno

Da qualche anno lei tiene un corso particolare all'Università della California a Berkeley, insieme a filosofi e psicologi. Qual è lo scopo di questo corso?

Il titolo del corso, «Sense and sensibility and science», è un omaggio a *Ragione e sentimento* di Jane Austen. Tempo fa, riflettendo su alcune decisioni politiche, ho notato che spesso le scelte importanti si basano semplicemente sulla credenza di essere nel giusto, non sono il frutto di un processo razionale. Allora ho pensato che fosse utile proporre un corso interdisciplinare sul modo di procedere della scienza nel cercare soluzioni ai problemi, soprattutto nel suo insistere a cercare di scovare gli errori, e capire quando ci stiamo ingannando. Nel corso però non trascuriamo il fatto che quando le persone prendono una decisione sono in gioco paura, valori, bisogni e ambizioni di cui dobbiamo tenere conto.

Costruire case con mattoni di paglia

Una specie di ossessione, se il termine non fosse vagamente negativo. Un obiettivo preciso, però, sì. Si può definire così quello di Tiziana Monterisi, architetto lombarda: trovare un'alternativa all'architettura chimica percorrendo la via bio-ecologica, usando cioè materiali prestanti ma che non abbiano un impatto né sull'essere umano né sull'ambiente.

Monterisi ci lavora da quando si è laureata, prima importando i materiali naturali da Germania, Austria e Svizzera, poi cominciando a produrli lei stessa, o meglio facendoli produrre alle aziende partner della sua società, sfruttando gli scarti del riso. «L'idea mi è venuta 15 anni fa, quando mi sono trasferita con il mio compagno a Biella», racconta l'architetto. «Qui il paesaggio è molto diverso da quello a cui ero abituata: le risaie sono un elemento imprescindibile e si vive la stagionalità seguendo il ritmo del riso».

Ogni scarto ha il suo impiego

Fra settembre e ottobre, quando si taglia il riso, nei campi resta la paglia che, a differenza di altre paglie agricole, è davvero uno scarto: contiene troppa silice perché cresce in acqua e quindi non può essere usata per le lettiere degli animali. Davanti a questo paesaggio la giovane architetto comincia a pensare come poter valorizzare questo scarto. Negli Stati Uniti la paglia di altri cereali viene usata in edilizia fin dal Settecento, ma mai nessuno ha pensato di usare quella di riso. Forse perché non hanno delle distese di riso come quelle che circondano Biella. Oppure perché non abitano nel paese primo produttore europeo, l'Italia appunto.

Monterisi invece sì, e forse per questo decide di sfruttare a suo vantaggio le peculiarità del riso. «La presenza di silice impedisce alla paglia di riso di marcire e le conferisce un altissimo potere isolante, caratteristiche importanti quando bisogna costruire un edificio», dice l'architetto. Ma all'inizio gli sforzi si sono concentrati anche su altri materiali: anche grazie all'ispirazione che le viene dalla collaborazione con il maestro Michelangelo Pistoletto, dal 2008 Monterisi inizia a lavorare con argille, sughero, lane di pecora. «Dalla fine del 2016, però, ci siamo concentrati solo sul riso, anche per la sua abbondanza: per ogni ettaro di coltivazione si ricavano sette tonnellate di nutrimento e dieci di scarti. Argilla e paglia sono quelli che rimangono in campo, ma poi ce ne sono altri che vengono dalla lavorazione», sottolinea Monterisi. «La lolla è la pelle del chicco che viene scartata quando si lavora il risone, che è il prodotto del taglio avvenuto in campo. Dopo questa operazione, che si chiama sbramatura, si procede con la pilatura che rende il riso bianco e si produce un altro scarto, la pula che è una sorta di farina».



Ogni scarto ha caratteristiche chimiche diverse per cui trova specifici impieghi: la pula è molto proteica ed è usata come mangime per animali, la lolla così come la paglia è ricca di silice ed è usata per le lettiere dei cavalli. Monterisi studia a fondo tutti gli scarti e comincia a capire che cosa può fare con ognuno di essi. Il primo prodotto della sua azienda, Ricehouse, è un mattone a base di paglia di riso. Una specie di azzardo. «Quando abbiamo cominciato a proporlo abbiamo capito che in Italia il mondo dell'edilizia non è ancora pronto. Alle orecchie dei costruttori suonava un po' come proporre la casa dei tre porcellini», sorride Monterisi.

Senza perdersi di morale, l'architetto decide di puntare sui materiali necessari per i rivestimenti, come gli intonaci alleggeriti dalla presenza di lolla, pannelli simili al cartongesso ma con carat-

Cortesia Ricehouse (tutte le foto, in questa pagina e a fronte)

LA SCHEDA - RICEHOUSE

La filiera produttiva

di Ricehouse comincia fra settembre e ottobre, quando si taglia il riso e nei campi resta la paglia poi usata dall'azienda di Andorno Micca, in provincia di Biella.

Azienda fondata nel settembre 2016

Persone di riferimento: Tiziana Monterisi (CEO), Alessio Colombo (COO), entrambi co-fondatori

Sito: www.ricehouse.it **Mail:** info@ricehouse.it

Numero di brevetti: 2 in attesa di approvazione

Dipendenti-collaboratori: 7



teristiche termiche, acustiche e di assorbimento di CO₂ molto più elevate grazie alla presenza degli scarti del riso. Piano piano, prodotto dopo prodotto, Ricehouse ha sviluppato «ricette» a base di riso per tutti i componenti dei muri, gli stessi che prima lo studio di architettura doveva importare. La produzione è affidata ad alcuni partner che hanno imparato a lavorare sulla base del ricettario. Il catalogo dell'azienda biellese si è via via arricchito, come anche la lista degli edifici costruiti con i loro materiali.

«A oggi sono più di 20, fra cui anche una scuola, a cui si aggiungerà nei prossimi mesi un centro benessere che stiamo progettando in Toscana. I nostri prodotti sono più cari di quelli tradizionali ma meno di altri materiali naturali e soprattutto permettono un risparmio sul lungo termine perché nelle case a base di riso non c'è

bisogno di impianto di riscaldamento e di condizionamento», sottolinea Monterisi.

Lo dimostra senza ombra di dubbio una casa costruita a 1800 metri di quota; ma prima di proporlo l'architetto e il suo compagno – ormai diventato socio dell'azienda – lo hanno sperimentato in prima persona: sette anni fa hanno ristrutturato la loro casa con i prodotti Ricehouse e da allora vivono senza riscaldamento. L'azienda biellese è un *unicum* a livello europeo e anche a livello mondiale non ha molti rivali: sono solo tre le realtà che lavorano la paglia di riso per l'edilizia – in Stati Uniti, Singapore e Thailandia – ma lo fanno in maniera sensibilmente diversa rispetto a quella italiana. Prima di tutto perché usano una colla poliuretanica, in altre parole il loro prodotto, un pannello, non è completamente riciclabile e alla fine della sua vita è considerato un rifiuto speciale, proprio come i materiali edili tradizionali.

Il collante usato da Ricehouse, invece, è a base di elementi naturali e tutti i prodotti concorrono all'economia circolare pura. Inoltre le altre aziende hanno in catalogo un solo prodotto. Tutti elementi che fanno dell'azienda biellese un caso da esportazione. «Nei prossimi mesi speriamo di aprirci al mercato tedesco dove è appena entrata in vigore una legge che vieta l'uso di materiali che contengano formaldeide per arredi e rivestimenti. Il mercato che si apre è molto ampio e i nostri prodotti sono innovativi e competitivi», afferma Monterisi. Nel frattempo l'ossessione continua a produrre idee: oltre all'edilizia, l'architetto sta esplorando il mondo del *design* e quello del *packaging*. Come? Per esempio stampando in 3D sedie con una miscela a base di scarti di riso. L'obiettivo di un'architettura bio-ecologica è sempre più vicino.

professore ordinario di logica matematica all'Università di Torino
e visiting professor alla Cornell University di Ithaca (New York)



Matematica gattopardesca

Anche in questo campo a volte cambiare tutto
è utile a far rimanere tutto come è

Il *Gattopardo* (1958) di Giuseppe Tommasi di Lampedusa è passato alla storia per la famosa frase «se vogliamo che tutto rimanga come è, bisogna che tutto cambi», che presuppone una tensione fra la mutevole apparenza del divenire e l'immutevole realtà dell'essere tipica della filosofia di Parmenide.

In geometria, l'apparenza prende spesso le vesti delle coordinate dei punti in un sistema di assi cartesiani, i cui valori cambiano al variare del sistema.

Geometrie e orbite

La realtà si manifesta invece, per esempio, nella lunghezza di un segmento, che non solo rimane sempre la stessa quando gli assi vengono traslati o ruotati, ma si calcola sempre nello stesso modo: cioè, con la formula quadratica $\Delta s^2 = \Delta x^2 + \Delta y^2$, che deriva dal teorema di Pitagora applicato al triangolo rettangolo la cui ipotenusa è l'immutevole segmento Δs stesso, e i cui cateti sono le mutevoli differenze Δx e Δy delle coordinate dei suoi estremi.

Analogamente, l'equazione quadratica $ax^2 + bxy + cy^2 + dx + ey + f = 0$ di una sezione conica cambia se si traslano o si ruotano gli assi, ma il discriminante $b^2 - 4ac$ rimane sempre lo stesso: in particolare, il suo segno (positivo, nullo o negativo) determina il tipo di figura corrispondente all'equazione (iperbole, parabola o ellisse). Anche la traccia $a + c$ rimane sempre la stessa se si traslano o si ruotano gli assi, mentre la somma $d^2 + e^2$ e il termine noto f rimangono invariati solo se si ruotano gli assi.

Proprio perché la curva non cambia quando si traslano o si ruotano gli assi, la scelta di questi ultimi viene spesso fatta per semplificare le equazioni. Per esempio, ponendo l'origine nel centro si ottiene $x^2 + y^2 = 1$ per il cerchio di raggio unitario, ponendo il vertice nell'origine e l'asse X tangente alla curva si ottiene $y = ax^2$ per la parabola, e ponendo gli assi X e Y sugli asintoti si ottiene $xy = 1$ per l'iperbole equilatera.

In fisica, i sistemi tolemaico e copernicano altro non erano che le descrizioni del sistema solare rispetto ad assi con l'origine rispettivamente nel centro della Terra o del Sole. Nel primo caso, le orbite della Luna e del Sole apparivano (in prima approssimazione) come cerchi con il centro nell'origine, e le orbite dei pianeti come curve a cappi, ottenute dalla composizione di due curve circolari (le orbite del pianeta e della Terra attorno al Sole). Nel secondo caso, le orbite dei pianeti apparivano come cerchi con il centro nell'origine, e l'orbita della Luna come una poligonale a lati ricurvi (*si veda la rubrica di gennaio 2018*).

Le soluzioni di Einstein

La relatività ristretta pose il problema di scrivere le leggi della fisica, compresa quella di gravità, in modo che risultassero invarianti rispetto a traslazioni uniformi (cioè, a velocità costante e accelerazione nulla) degli assi di riferimento dello spazio e del tempo. Le leggi di Newton rimanevano invariate se si passava da un sistema di assi all'altro mediante le trasformazioni di Galileo, mentre erano le leggi dell'elettromagnetismo di Maxwell a rimanere invariate se si usavano invece le trasformazioni di Lorentz per lo spazio e il tempo. Einstein notò che per lasciare invariate anche le leggi di Newton, bastava estendere le trasformazioni di Lorentz anche alla massa.

La teoria generale della relatività richiese invece che le leggi della fisica risultassero invarianti anche rispetto a cambiamenti non uniformi degli assi di riferimento, come le traslazioni accelerate o le rotazioni. Per svilupparla, Einstein dovette ricorrere alla geometria riemanniana e far uso del calcolo tensoriale inventato da Gregorio Ricci-Curbastro e sviluppato da Tullio Levi-Civita, che serviva appunto a esprimere le formule della geometria riemanniana in maniera indipendente dai sistemi di riferimento, nella maniera il più gattopardesca possibile.



Una specie ammansita

Siamo la versione addomesticata dei nostri progenitori, come suggerirebbe anche l'attività di un gene specifico

Chi si avvicina per la prima volta alla lettura di *L'origine delle specie* di Charles Darwin rimane quasi sempre spiazzato. In apertura, anziché andare al succo della questione, l'autore ci fa sorbire pagine e pagine sui piccioni e su altre specie allevate. Il motivo è noto: a quel tempo in Inghilterra tutti avevano sotto gli occhi animali domestici e impazzavano i campionati tra i migliori allevatori. Era un modello perfetto per spiegare, dal secondo capitolo, che la stessa variazione che si trova allo stato domestico c'è anche in natura, e che alla selezione artificiale di piante e animali corrisponde una selezione naturale (senza allevatore!) allo stato selvatico.

Darwin era così affascinato dalla domesticazione che nelle opere antropologiche, ispirandosi a un'idea settecentesca di civilizzazione che risaliva a Johann Friedrich Blumenbach, sfiorò un'altra intuizione che poi nessuno raccoglierà per più di un secolo. *Homo sapiens* presenta fattezze addolcite ed è un campione di cooperazione: due indizi del fatto che forse si è addomesticato da solo, cioè ha favorito inconsapevolmente la sopravvivenza degli individui più docili.

Selezione positiva

L'idea è tornata alla ribalta negli ultimi anni. Il primatologo di Harvard Richard Wrangham sostiene da tempo che noi, come i bonobo quando si differenziarono dagli scimpanzé, ci saremmo auto-addomesticati. In pratica, si sarebbe instaurata una selezione positiva in particolare dei maschi più docili e socievoli, che favorì i soggetti più tolleranti e pacifici. Così gli esseri umani avrebbero ridotto l'aggressività impulsiva, a caldo, frutto di rabbia e frustrazione, rivolta spesso verso membri del loro stesso gruppo. Quanto all'aggressività a freddo, intenzionale e pianificata, quella fu tenuta sotto controllo dalle sanzioni sociali e dalle punizioni.

Una serie di caratteristiche fisiche non

adattative sono tipiche di tutte le specie domesticate: si chiama «sindrome da domesticazione» e include orecchie pendule, code arricciate, pelo maculato, muso schiacciato, minori differenze tra maschi e femmine, riduzione di denti e stazza. Alcuni di questi segnali biologici (gracilità, femminilizzazione del viso, conservazione di tratti giovanili) sono presenti nei bonobo e in effetti sono emersi anche in *H. sapiens* a partire dalla sua origine in Africa fra 200.000 e 300.000 fa.

Uno studio ingegnoso

Nel 2014 si è scoperto che un filo biologico lega tutti questi tratti: una riduzione delle cellule staminali della cresta neurale, per la cui formazione gioca un ruolo apicale il gene *BAZIB*. Fin qui gli indizi, ma in biologia evolutiva per passare da narrazioni plausibili a ipotesi verificate servono prove dirette. Una di queste forse è arrivata, grazie a un ingegnoso studio pubblicato a inizio dicembre su «Science Advances» da un gruppo internazionale di scienziati con ampia partecipazione italiana (prima e ultima firma Matteo Zanella e Giuseppe Testa, dell'Istituto europeo di oncologia e Università degli Studi di Milano).

Dosandone i livelli di espressione e analizzandone le alterazioni patologiche (che causano un particolare disturbo dello sviluppo neurale, la sindrome di Williams-Beuren), si scopre effettivamente che il gene umano *BAZIB* regola l'espressione di molti altri geni e fattori connessi allo sviluppo del cranio e della faccia. Non solo: confrontando la versione nostra di questa complessa rete di regolazione genica con quella di Neanderthal e Denisoviani, risulta che solo noi abbiamo avuto una serie di mutazioni regolative associabili a un processo di domesticazione. Dunque, forse ci siamo davvero ammansiti da soli, più delle altre specie umane. Vedendo certe esplosioni di violenza non si direbbe, ma siamo la versione addomesticata dei nostri progenitori.

ordinario di paleoantropologia alla Sapienza Università di Roma;
socio corrispondente dell'Accademia Nazionale dei Lincei



Una nuova datazione per *H. erectus*

Il risultato offre una solida base per l'interpretazione dell'evoluzione umana in Asia nel tardo Pleistocene



Gli ultimi conosciuti.

Secondo la nuova datazione di alcuni reperti, tra cui crani senza faccia (nella foto, una ricostruzione al computer), gli ultimi *H. erectus* noti sarebbero vissuti a Giava tra 117.000 e 108.000 anni fa.

Un gruppo internazionale, con ricercatori indonesiani e delle università di Sidney e dell'Iowa, ha determinato l'età dei resti fossili più recenti di cui disponiamo per la specie *Homo erectus*.

I reperti, una dozzina di crani senza faccia (o «calvari», come si dice tecnicamente) e un paio di tibie, tutti scoperti negli anni trenta, provengono dal sito di Ngandong: un importante deposito fossilifero lungo il corso del fiume Solo, nell'isola di Giava. Nel contesto della ripresa degli scavi nel terrazzo fluviale, con nuove interpretazioni stratigrafiche a scala locale e regionale e sulla base di ben 52 datazioni di reperti faunistici (rinvenuti negli stessi strati dei resti umani), si è arrivati alla conclusione che gli ultimi *H. erectus* conosciuti siano vissuti in un periodo compreso tra 117.000 e 108.000 anni fa.

Questo risultato chiude un vecchio dilemma e una controversia che si era accesa nel 1996, quando Carl C. Swisher III (un esperto di datazioni alla Rutgers di New York) aveva pubblicato datazioni molto più recenti di quanto si pensava all'epoca, e anche di quelle ottenute adesso. Era seguita una serie discussioni scientifiche, di confutazioni e una ritrattazione da parte dello stesso Carl Swisher.

Con il nuovo studio, abbiamo ora un punto fermo su cui basare ogni ragionamento sull'estinzione di *H. erectus* e sulle possibili interazioni fra questa specie e altri protagonisti dell'evoluzione umana nel tardo Pleistocene in Asia, come *H. heidelbergensis*, i Denisoviani e/o le prime popolazioni di *H. sapiens* arrivate in Estremo Oriente.

Il pitecantropo di una volta

L'Asia è un continente tanto vasto quanto largamente sconosciuto per lunghe fasi dell'evoluzione umana. A sua volta, *H. erectus* è una specie estinta di ominidi bipedi che viene vista oggi da molti specialisti (me compreso) come la varietà umana arcaica sviluppatasi e a

lungo sopravvissuta in Estremo Oriente, solo in Estremo Oriente, forse fino alla diffusione (anche in Estremo Oriente) di *H. sapiens*.

I primi resti furono scoperti alla fine dell'Ottocento dal paleontologo, medico e ufficiale olandese Eugene Dubois. Questi, approdato a Giava, scoprì il cosiddetto «anello mancante» ipotizzato dal morfologo ed evoluzionista tedesco Ernst Haeckel e che lui stesso andava cercando. Lo chiamò *Pithecanthropus erectus*. Diversi reperti simili furono in seguito scoperti in siti della stessa isola, compreso Ngandong (il deposito più recente di tutti) e altri, anche parecchio più antichi; come, molto più a nord, in Cina, soprattutto nel celebre sito in grotta di Zhoukoudian. Poi, negli anni cinquanta del XX secolo, la specie venne ascritta al genere *Homo* e, in memoria di quella prima scoperta di fine ottocento, prese il nome di *H. erectus*.

Più o meno specie?

Questo binomio in latino rimane al centro di una *querelle* tutta interna al mondo dei paleoantropologi. C'è chi intende con questo termine solo i fossili dell'Estremo Oriente (Giava e Cina), c'è chi vorrebbe invece inserire nella stessa specie anche fossili africani, che altri autori attribuiscono a *H. ergaster*. Come se non bastasse, c'è ancora chi sarebbe propenso a vedere in alcuni fossili europei la prova dell'esistenza di *H. erectus* anche a nord del Mediterraneo. È una *querelle* (come l'abbiamo chiamata) che richiama la più generale distinzione fra *splitters* e *lumpers*, cioè fra specialisti che ravvisano, rispettivamente, chi più e chi meno specie sulla base del record fossile di cui disponiamo, con conseguenti chiavi di lettura differenti del fenomeno che intendiamo studiare.

Questo non toglie che sia un fenomeno che conosciamo sempre meglio, anche sulla base di solide datazioni, come quest'ultima ottenuta per il sito di Ngandong a Giava.



L'acuto sguardo di CHEOPS

Il satellite dell'Agenzia spaziale europea studierà un po' più in dettaglio esopianeti già identificati

I primi vent'anni del nuovo secolo sono stati quelli in cui abbiamo scoperto migliaia di nuovi mondi intorno ad altre stelle. Il decennio appena iniziato sarà quello in cui, oltre a dare la caccia a molti altri esopianeti, proveremo a capire sempre meglio quelli che già conosciamo. La prima tappa di questa nuova fase è stata la messa in orbita del satellite CHEOPS dell'Agenzia spaziale europea (ESA), avvenuta proprio negli ultimi giorni del 2019.

CHEOPS è un piccolo telescopio spaziale, la cui parte ottica è stata progettata e realizzata in Italia sotto la guida dell'Agenzia spaziale italiana e dell'Istituto nazionale di astrofisica (ricercatori italiani hanno un ruolo chiave anche nel gruppo scientifico). Come suggerisce l'acronimo (CHAracterising ExOPlanets Satellite), il suo scopo principale è caratterizzare esopianeti già noti, ovvero di determinare meglio i loro parametri fisici e, in particolare, la loro densità.

I limiti di due metodi

Per capire meglio l'importanza di questa missione, dobbiamo ricordare che ci sono due metodi principali per scoprire e studiare i pianeti extrasolari. Il primo è basato sulla misurazione della velocità radiale della stella ospite, ovvero del piccolo spostamento periodico causato dalla presenza del pianeta. A questo metodo si deve, tra l'altro, la scoperta del primo pianeta extrasolare, recentemente premiata con il Nobel per la fisica; tra l'altro, uno dei premiati, Didier Queloz, presiede il gruppo scientifico di CHEOPS. Il secondo metodo misura invece l'attenuazione della luce della stella causata dal transito del pianeta. E questo è quello usato dalla missione Kepler della NASA, e a cui si deve la scoperta della maggior parte degli esopianeti di dimensioni simili alla Terra.

I due metodi, usati singolarmente, non permettono di ricavare tutte le informazioni fisiche di un esopianeta. Con la misurazione delle

velocità radiali si può ottenere una stima della massa del pianeta, mentre osservando il transito si può dedurre il suo diametro. Non sono moltissimi i casi in cui è stato possibile applicare congiuntamente entrambi i metodi, e questo significa che abbiamo solo una conoscenza parziale delle caratteristiche fisiche di gran parte degli esopianeti noti. Per esempio, in generale non conosciamo la loro densità, visto che per questo avremmo bisogno di conoscere tanto la massa che il diametro. Quindi non possiamo essere del tutto sicuri della loro composizione, ovvero se si tratti di pianeti prevalentemente rocciosi o con una componente gassosa importante.

E poi il James Webb Telescope

È qui che entra in gioco CHEOPS. Il telescopio spaziale osserverà con estrema precisione i transiti di esopianeti già noti, di dimensioni comprese tra quelle della Terra e di Nettuno, e di cui conosciamo già la massa tramite il metodo delle velocità radiali. In questo modo, potrà ottenere una stima accurata della densità e quindi mettere limiti più precisi alla possibile presenza di un'atmosfera attorno a quei mondi.

Tutto questo sarà un punto di partenza essenziale per quello che verrà nel prossimo futuro, e in particolare per la ricerca di mondi che possano ospitare la vita. Il 2021 dovrebbe vedere il lancio del James Webb Space Telescope, il nuovo telescopio spaziale della NASA che raccoglierà l'eredità di Hubble. Webb avrà la tecnologia per indagare con la spettroscopia l'atmosfera di esopianeti vicini potenzialmente abitabili, tra cui quelli caratterizzati proprio da CHEOPS. E poi, nel 2028, sarà la volta di ARIEL, missione ESA progettata con il preciso scopo di analizzare le atmosfere esoplanetarie. Così, a poco a poco, andremo oltre le semplificazioni della «zona abitabile», e ci faremo un'idea più realistica dell'ambiente degli altri mondi della nostra galassia.



Cacciatore di transiti.

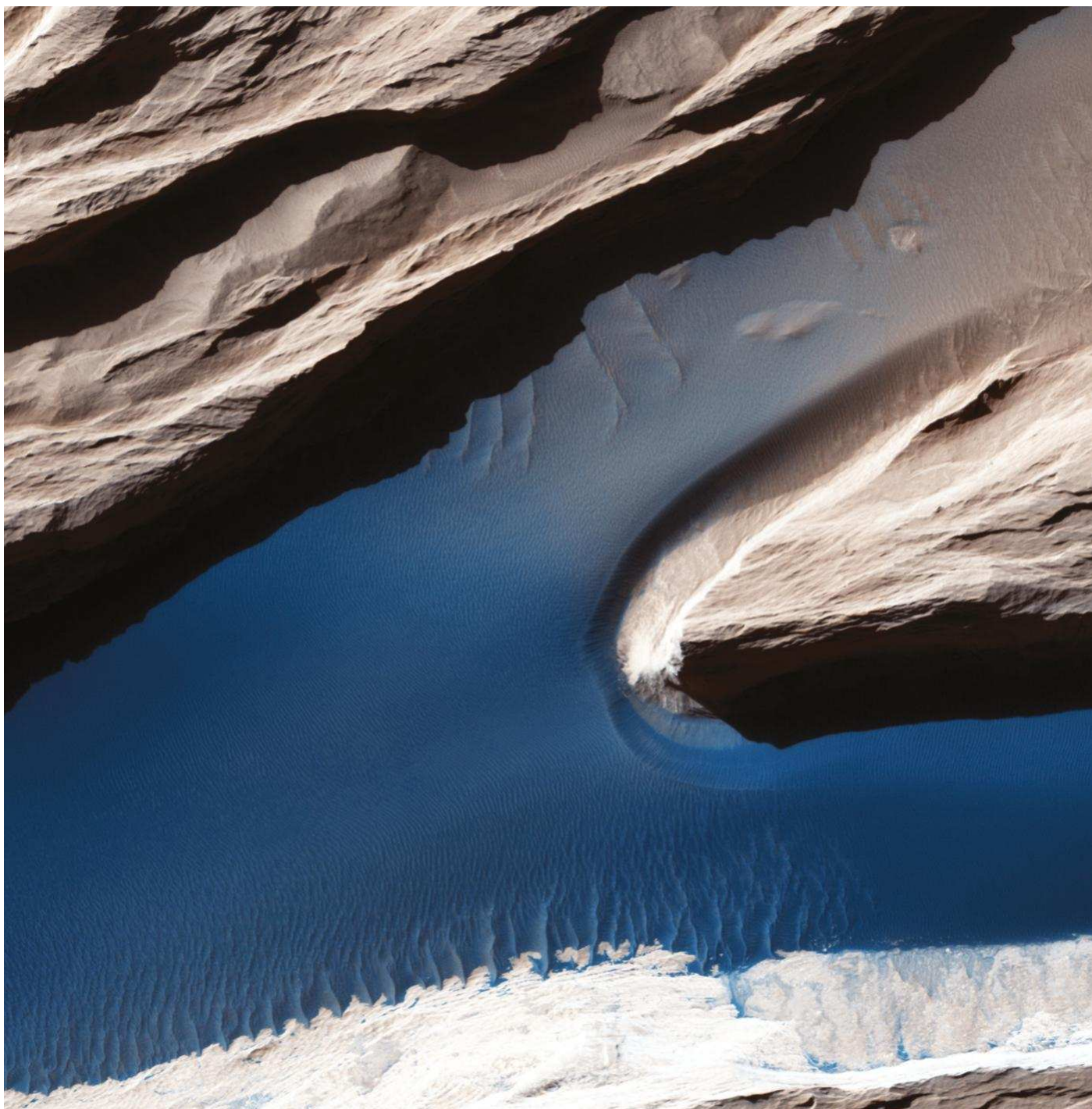
Illustrazione di CHEOPS, messo in orbita negli ultimi giorni del 2019, con l'atmosfera terrestre sullo sfondo.

I dati ottenuti dal satellite dell'ESA saranno utili ad altre missioni future dedicate agli esopianeti.

PLANETOLOGIA

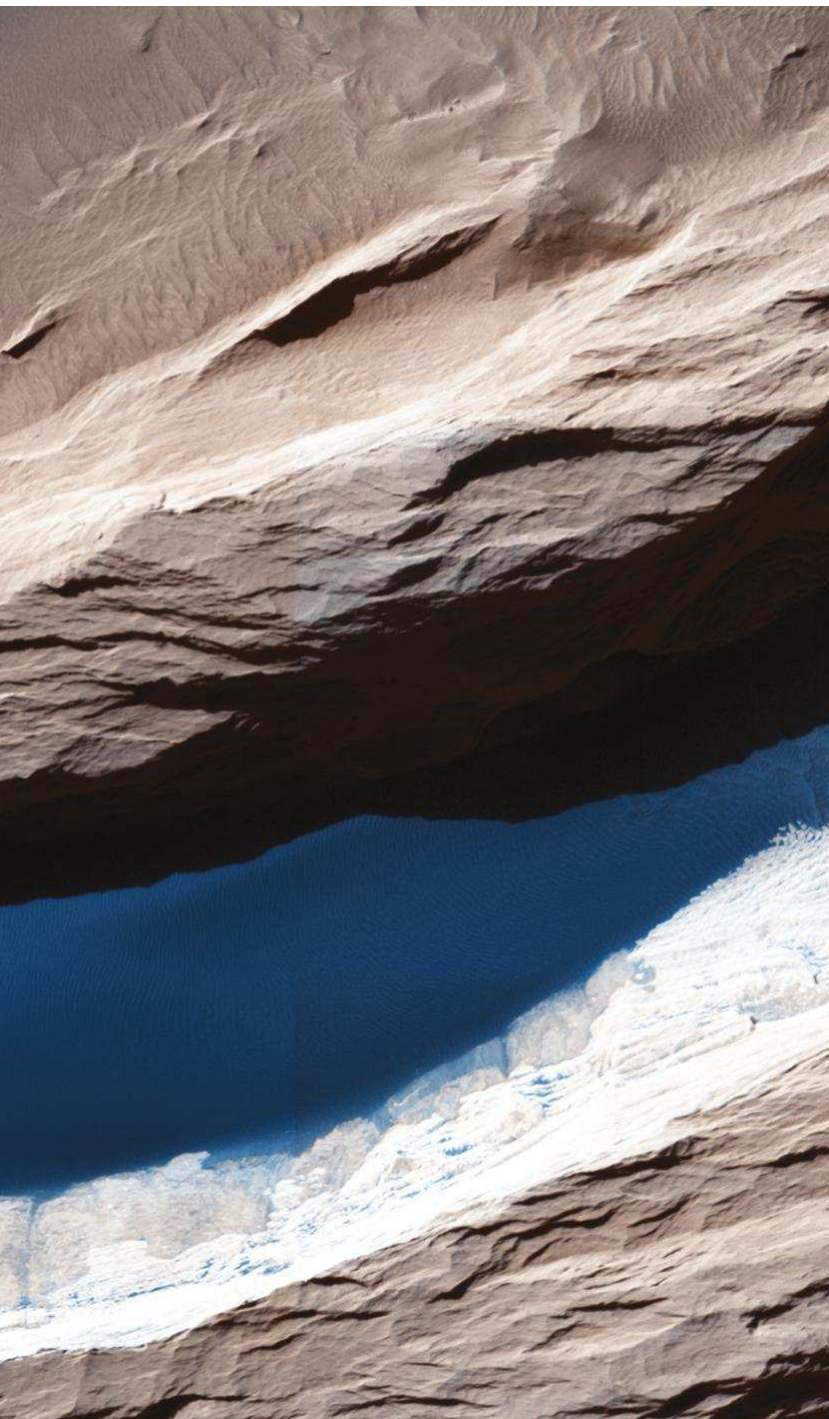
Eolo soffia anche su Marte

Tracciata la mappa della circolazione globale dei venti del Pianeta Rosso



Cortesia NASA/JPL-Caltech/Università dell'Arizona

Forme da erosione. Il vento è una delle forze più attive nel dare forma alla superficie di Marte. Queste creste rocciose chiamate «yardangs» e fotografate dalla sonda Mars Reconnaissance Orbiter della NASA, per esempio, sono prodotte anche dall'azione erosiva dei venti marziani.



Dalla letteratura al cinema, per l'umanità il fascino del Pianeta Rosso rimane qualcosa senza tempo, che lo rende non solo il pianeta più sognato ma anche quello più studiato. Roccioso e relativamente vicino alla Terra, in un passato remoto Marte ospitava acqua allo stato liquido sulla sua superficie. Sfortunatamente, la progressiva dissoluzione della sua atmosfera, oggi assai rarefatta e composta in prevalenza da anidride carbonica, lo rende un mondo arido e inospitale per la vita. Per studiare quel che resta dell'atmosfera marziana, nel 2013 la NASA ha lanciato la missione Mars Atmosphere and Volatile Evolution (MAVEN). Terminato con successo il suo scopo, nel 2016 il satellite orbitale è stato riprogrammato da remoto per tentare un'impresa altrettanto ambiziosa: tracciare una mappa della circolazione globale dei suoi venti. I risultati sono stati pubblicati su «Science» dal gruppo di ricerca del planetologo Mehdi Benna del Goddard Space Flight Center della NASA.

La stesura della mappa è stata possibile grazie ai dati registrati da un particolare spettrometro di massa montato sul satellite, capace di determinare struttura e composizione dell'atmosfera misurando la quantità di ioni e gas presenti. Tra il 2016 e il 2018 lo strumento ha scandagliato ogni mese per due giorni la termosfera del pianeta, cioè lo strato atmosferico in cui la temperatura aumenta con la quota, per determinare la direzione dei venti ad altitudini comprese fra 140 e 204 chilometri dalla superficie.

L'analisi dei dati ha restituito conferme ma anche alcune sorprese. In generale, la circolazione del Pianeta Rosso risulta semplificata rispetto a quella terrestre, ed è caratterizzata da venti stabili che persistono nella successione delle stagioni. «È confortante che le osservazioni dell'atmosfera superiore abbiano confermato, su scala globale, quanto previsto dai modelli. Tuttavia, nel breve periodo, la variabilità dei venti è risultata inaspettatamente ampia», dice Benna.

La seconda sorpresa riguarda l'intrusione nella termosfera di perturbazioni note come onde orografiche, osservate perfino a 280 chilometri di altitudine. Esse si formano a livello del suolo quando i venti incontrano un rilievo che costringe le correnti d'aria a innalzarsi. Il fenomeno avviene anche sulla Terra dove però queste onde di gravità non raggiungono altitudini così elevate. Secondo gli autori, questo potrebbe dipendere da due fattori. L'atmosfera di Marte è più rarefatta di quella terrestre: trovando solo una debole opposizione, le onde orografiche si propagano a distanza maggiore. Inoltre, il dislivello tra rilievi e livello medio della superficie è molto più marcato su Marte che sulla Terra: il colossale vulcano Olimpo supera i 25 chilometri di altezza, mentre il monte Everest non raggiunge i nove chilometri.

Davide Michielin

ASTRONOMIA

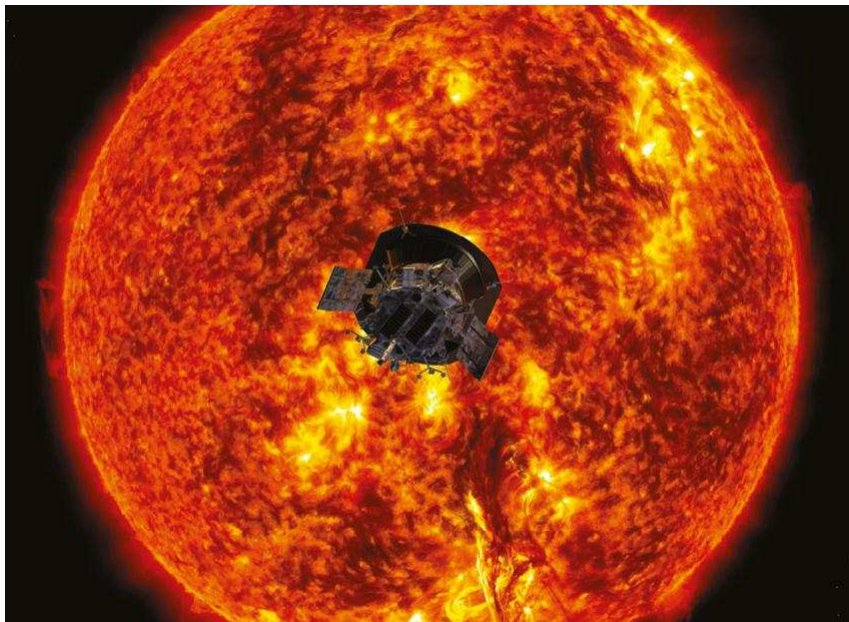
Da vicino il Sole è diverso

I primi risultati della Parker Solar Probe mostrano fenomeni mai visti dalla Terra

Il Sole, visto da vicino, non è come ce lo aspettavamo. È questo, in sintesi, il senso dei quattro articoli pubblicati su «Nature» sui primi risultati ottenuti analizzando i dati registrati dalla sonda della NASA Parker Solar Probe.

Lanciata nell'agosto 2018 con l'obiettivo di studiare da distanza ravvicinata il Sole, la sonda ha già completato i primi tre passaggi al perielio, arrivando a una distanza dalla nostra stella di meno di 25 milioni di chilometri, viaggiando così quasi due volte più vicina al Sole di qualsiasi precedente veicolo spaziale.

Da quella distanza, la sonda – che deve il proprio nome all'astrofisico statunitense Eugene Parker, che nel 1957 coniò il termine «vento solare» e sviluppò la teoria sull'origine di questo continuo flusso di particelle cariche, tipicamente protoni ed elettroni, proveniente dal Sole – è già stata in grado di osservare fenomeni mai visti dalla distanza della Terra. Fra questi, la natura turbolenta dei getti di materia emessi dal Sole e l'esistenza di rapide inversioni nel campo magnetico trasportato dal flusso di particelle. La sonda ha inoltre osservato il vento solare ancora in rotazione, a velocità quasi dieci volte maggiori di quanto previsto. Un dato che, se confermato,



costringerà a riscrivere i modelli di dispersione dell'energia solare. Infine, ha scoperto piccole eruzioni di particelle energetiche mai osservate prima e confermato indirettamente che la polvere interplanetaria cessa di esistere sotto i cinque milioni di chilometri di distanza dal Sole, perché vaporizzata dalla radiazione solare.

Se questi sono i risultati preliminari, chissà che cosa potrà scoprire Parker quando, nei pericoli finali della sua missione, il cui termine è previsto nel 2025, arriverà ad appena sei milioni di chilometri dalla superficie della nostra stella, volando immersa nella corona.

Emiliano Ricci

Trasferire calore nel vuoto, senza luce

Secondo la fisica classica, il calore può propagarsi nello spazio vuoto solo con la mediazione di una radiazione elettromagnetica, come accade per esempio con l'energia termica trasportata sulla Terra dai raggi solari. Tuttavia, ancora una volta la meccanica quantistica ha il potere di ribaltare lo scenario classico: lo dimostra un esperimento effettuato da un gruppo di ricercatori dell'Università della California, guidati da Xiang Zhang, che sono riusciti a trasferire calore attraverso uno spazio completamente vuoto, sfruttando un fenomeno quantistico conosciuto come «effetto Casimir». I risultati sono stati pubblicati su «Nature».

Una delle proprietà più bizzarre della meccanica quantistica prevede che il vuoto, in realtà, non sia mai realmente tale. Anche in assenza di materia e radiazione, il vuoto quantistico è caratterizzato da fluttuazioni che portano alla continua creazione e distruzione di particelle virtuali: per effetto di queste fluttuazioni, tra due oggetti separati dal vuoto può crearsi un'interazione, detta di Casimir, che rende possibile anche la

propagazione dei cosiddetti fononi, ovvero i «quanti di vibrazione» che trasportano il calore.

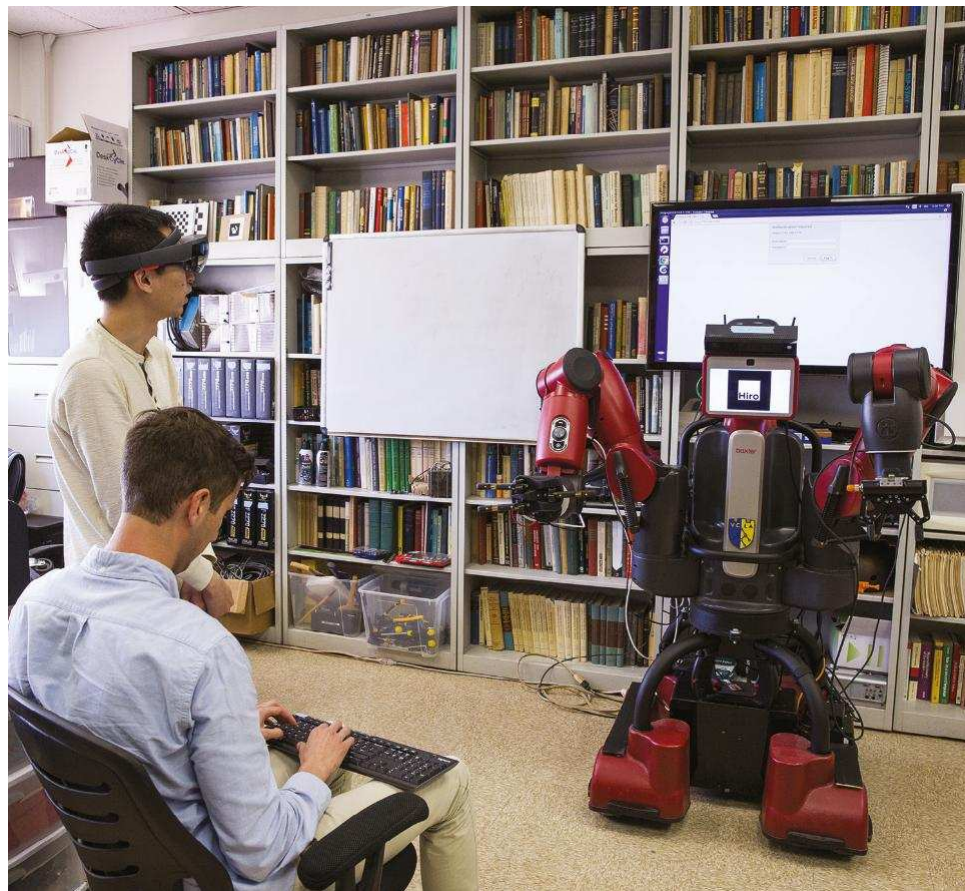
Benché da un punto di vista teorico questa possibilità sia nota da tempo, la dimostrazione sperimentale è decisamente complicata. Per riuscirci, Zhang e colleghi hanno messo a punto due membrane di nitruro di silicio estremamente sottili, e ideato un sistema in grado di monitorare in modo preciso la loro temperatura. Riscaldando una delle due membrane, posta nel vuoto a poche centinaia di nanometri dall'altra (una distanza tale da rendere trascurabili altri effetti di trasmissione del calore), i ricercatori hanno rilevato l'aumento della temperatura anche della seconda membrana, a conferma dell'avvenuta propagazione del calore.

Secondo gli scienziati, il risultato può aprire le porte ad applicazioni interessanti soprattutto nel settore della nanoelettronica, dove il problema di gestire la propagazione del calore è molto rilevante.

Matteo Serra

XAI, come fai?

Un'intelligenza artificiale sa spiegare quello che sta facendo



Ha suscitato interesse nella comunità dei ricercatori sull'intelligenza artificiale uno studio effettuato da un gruppo di informatici e robotici dell'Università di California a Los Angeles (UCLA) e del California Institute of Technology di Pasadena. I ricercatori hanno messo a punto un sistema in grado di trovare il modo di aprire flaconi di pillole dotati di chiusure di sicurezza. Queste chiusure richiedono l'esercizio di una pressione per essere svitate, ma ognuna richiede un approccio e gesti diversi. Per un essere umano è relativamente semplice venire a capo del problema, ma per un robot occorre un'intelligenza artificiale in grado di esaminare varie opzioni e di trovare ogni volta quella migliore.

La portata innovativa dello studio, pubblicata su «Science Robotics» e finanziata dalla Defense Advanced Research Projects Agency degli Stati Uniti, risiede però in un altro aspetto. L'intelligenza artificiale impiegata è in grado, dice il

responsabile del progetto Song Zhu di UCLA, «di spiegare quello che sta facendo. È, in altre parole, una XAI, o *explainable artificial intelligence*» (in italiano, «intelligenza artificiale spiegabile»).

La XAI supera uno dei principali limiti di alcune reti neurali complesse, talmente intrecciate da rendere impossibile la ricostruzione del processo logico che conduce dai dati iniziali alla risposta finale, generando quello che gli esperti del settore definiscono «problema della black box», della scatola nera. «La trasparenza è fondamentale – spiega Zhu – per esempio in applicazioni come la guida autonoma o le diagnosi mediche», in cui gli esseri umani non solo devono potersi fidare della macchina, ma anche conoscere nel dettaglio il processo decisionale seguito. Un tema centrale, riconosciuto anche dall'Unione Europea nel suo regolamento GDPR, che riguarda il trattamento dei nostri dati personali.

Riccardo Oldani

Test superato per le «vele di luce» spaziali

Alcuni progetti legati all'esplorazione spaziale prevedono lo sviluppo di un particolare sistema di propulsione in cui le sonde viaggerebbero all'interno di speciali «vele» spinte da luci laser emesse da terra. Ora, un gruppo di ricerca guidato da Grover Swartzlander del Rochester Institute of Technology di New York ha realizzato con esito positivo un primo test sperimentale di questa tecnologia, pubblicando i suoi risultati su «Physical Review Letters».

La propulsione basata su luce laser ha il vantaggio di produrre un'accelerazione molto elevata, che può portare le sonde a muoversi addirittura fino a frazioni significative della velocità della luce. Tuttavia, affinché questo accada è necessario che la vela sia costantemente allineata con la direzione del fascio laser, e questa condizione è tecnicamente difficile da garantire. Per risolvere la sfida, Swartzlander e colleghi hanno messo a punto un tipo particolare di vela dotata di speciali «griglie di diffrazione», che deflettono la direzione del raggio laser in modo da mantenere la vela sempre allineata con il centro del fascio. Secondo i ricercatori il risultato è molto promettente, ma è solo un primo passo: la strada verso i primi test nello spazio è ancora lunga.

Matteo Serra

WHAT IS AVAXHOME?

AVAXHOME-

the biggest Internet portal,
providing you various content:
brand new books, trending movies,
fresh magazines, hot games,
recent software, latest music releases.

Unlimited satisfaction one low price

Cheap constant access to piping hot media

Protect your downloadings from Big brother

Safer, than torrent-trackers

18 years of seamless operation and our users' satisfaction

All languages

Brand new content

One site



AVXLIVE • ICU

AvaxHome - Your End Place

We have everything for all of your needs. Just open <https://avxlive.icu>

AMBIENTE

Chi modella la biodiversità

Valutati i ruoli relativi di clima e attività umane sui mammiferi



La maggioranza dei modelli previsionali adottati in ecologia e biogeografia stima gli effetti del cambiamento climatico e delle attività antropiche sulle comunità limitandosi agli ultimi decenni. Tuttavia, un numero crescente di indizi suggerisce che l'influenza di questi fattori, sebbene con intensità diversa, sia molto più antica e abbia contribuito a plasmare l'attuale biodiversità della Terra. Uno studio pubblicato sui «Proceedings of the National Academy of Sciences», e coordinato da John Rowan, professore di geografia fisica all'Università di Dundee, aggiunge ora nuove tessere al rompicapo.

I ricercatori hanno costruito una banca dati con oltre 500 comunità di mammiferi tropicali e subtropicali per capire in quale misura clima e attività umane, passate e presenti, possano spiegare l'attuale struttura filogenetica ed ecologica. Che rivoluzione industriale e globalizzazione abbiano influenzato considerevolmente la

biodiversità planetaria è un dato di fatto. Tuttavia, negli ultimi 100.000 anni, gli esseri umani hanno contribuito significativamente all'estinzione di diverse specie: secondo gli autori, le comunità di America meridionale e centrale sono state le più colpite dalle attività umane.

I risultati suggeriscono inoltre che l'influenza paleoclimatica sia forte ma estremamente variabile a seconda delle regioni geografiche. I cambiamenti di temperatura e precipitazioni avvenuti 22.000 anni fa, nell'ultimo massimo glaciale, nonché quelli del breve periodo caldo di 6.000 anni fa, sono stati estremamente rilevanti nell'evoluzione delle comunità di mammiferi nell'Africa sub-sahariana e nel Sudest asiatico. Quelle del Madagascar, dominate dai lemuri, sembrano invece essere state risparmiate da grandi trasformazioni, verosimilmente a causa della complessa storia dell'isola.

Davide Michielin

I cambiamenti fisici degli animali addomesticati

Non è certo che esista la sindrome da domesticazione, quell'insieme di cambiamenti fisici con cui gli animali selvatici, quando vengono addomesticati, assumono non solo comportamenti più mansueti e interattivi con gli esseri umani, ma anche fattezze più dolci come gli occhi grandi e la coda riccia. Il fenomeno è stato scoperto dallo zoologo sovietico Dmitry Belyaev quando ha addomesticato alcune volpi per ricostruire il passaggio dal lupo al cane. Poi è stato osservato in varie altre specie, facendo pensare che ci sia un percorso genetico comune tipico della domesticazione. Ma Elinor Karlsson, dell'Università del Massachusetts a Worcester, non è d'accordo. Su «Trends in Ecology and Evolution». Karlsson nota alcune falle nei lavori di Belyaev (per esempio, che partiva da volpi già in parte addomesticate), e nel modo in cui sono stati interpretati da altri, per esempio attribuendo un peso eccessivo ai cambi di colore, che possono essere stati casuali. Molti dei tratti fisici descritti, inoltre, non sono stati ben documentati nelle altre specie. Non tutti gli esperti trovano fondate le obiezioni di Karlsson, che comunque precisa: «Non dico che la sindrome non esista, ma che non è ancora dimostrata con certezza».

Giovanni Sabato

Ci sono storie che meritano un approfondimento.



I QUADERNI DE LE SCIENZE.

I GRANDI TEMI SCIENTIFICI, APPROFONDITI IN UN NUOVO APPUNTAMENTO MONOGRAFICO ONLINE.

Dalla biologia alla paleoantropologia, dalle neuroscienze alla genetica. Nascono "I quaderni de Le Scienze", una serie di raccolte monografiche sui grandi temi scientifici, con i migliori articoli italiani e internazionali, selezionati ogni mese per voi da Le Scienze. Per scoprire, appassionarsi, stupirsi con l'autorevolezza e la qualità di sempre, in un comodo formato online stampabile.



**SCOPRI I PRIMI 6 NUMERI
A SOLI 3,99 € CIASCUNO.**

lescienze.it



le Scienze

edizione italiana di Scientific American

CLIMA

Quanto sono vicini i punti di non ritorno?

Molti fenomeni climatici sono prossimi al superamento della soglia critica

La temperatura media globale alla superficie del pianeta ha risposto finora in maniera abbastanza graduale alle nostre azioni. Ma questa risposta del sistema clima sembra stia tramutandosi con una maggiore rapidità in alcuni luoghi della Terra, non solo per quanto riguarda la temperatura. Non saranno questi segnali i primi sintomi dell'innescare di fenomeni e di una dinamica che sta «partendo per la tangente», rischiando di farci passare a uno stato di equilibrio climatico molto diverso dall'attuale?

Il clima è proprio il prototipo di un sistema complesso e la fisica di questi sistemi ci mostra come essi siano dotati di «punti di biforcazione» che, al superamento di determinate soglie, fanno transitare il sistema su un nuovo stato senza la possibilità di tornare indietro, almeno nell'immediato. Anche il clima ha i suoi «punti di non ritorno» e un recente articolo di commento di Timothy Lenton, dell'Università di Exeter, e collaboratori, pubblicato su «Nature», ne discute l'importanza, nonché la vicinanza nel tempo.

Fino a vent'anni fa si riteneva che la maggioranza di queste soglie critiche sarebbero state superate per un aumento superiore ai 5 °C; oggi si stima che almeno alcune di esse possano essere superate già per un aumento di soli 2 °C. Dato che le riduzioni di gas serra previste attualmente dall'accordo di Parigi ci porterebbero a 3 °C o poco più di aumento, è chiaro che la situazione è preoccupante.

Lenton e colleghi analizzano vari fenomeni che potrebbero giungere presto a punti di non ritorno: tra questi la fusione dei ghiacci e del permafrost, e la deforestazione amazzonica. Ma mostrano anche come molti di questi fenomeni siano interconnessi tra loro e possano condurre a una «cascata» di conseguenze estese spazialmente a tutto il mondo. Attenzione quindi: rischiamo di innescare un circolo vizioso che si amplifica a dismisura.

Antonello Pasini



Due rami principali per l'albero della vita

Che forma ha l'albero della vita? Finora, seguendo quanto il biologo Carl Woese propose nel 1977, lo disegnavamo con tre rami evolutivi principali. Un ramo ciascuno per batteri e archea, entrambi organismi unicellulari relativamente semplici, e un terzo per gli eucarioti, le cui cellule, ben più complesse, contengono il genoma in un nucleo e dividono le funzioni tra vari organelli. C'erano molte prove che gli eucarioti si fossero evoluti da progenitori ben più vicini agli archea che ai batteri, ma finora erano ritenuti distinti da entrambi. Negli ultimi anni è sorta però un'ipotesi più radicale: gli eucarioti non sarebbero solo i cugini raffinati degli archea, ma potrebbero essere una linea evolutiva

tutta interna agli archea. Ipotesi rafforzata dalla scoperta nel 2015 dei cosiddetti Asgard, microrganismi appartenenti agli archea ma che sembrano geneticamente assai vicini agli eucarioti.

L'aspro dibattito in merito in corso tra i biologi, dovuto alla difficoltà di interpretare correttamente le tracce lasciate da eventi così remoti nel tempo, sembra ora vicino alla soluzione. Uno studio pubblicato di recente su «Nature Ecology & Evolution», firmato da un gruppo internazionale guidato da Tim Martin Embley dell'Università di Newcastle, nel Regno Unito, corrobora fortemente l'ipotesi di un albero a due soli rami. Usando i metodi più moderni di analisi filogenetica su oltre 3000

famiglie di geni, tenendo conto per esempio del fatto che l'evoluzione non agisce alla stessa velocità su tutte le parti del genoma, si ricava sistematicamente che l'albero della vita si divide innanzitutto in batteri e archea. Solo ben innestato all'interno di questi ultimi fiorisce il ramoscello degli eucarioti. In altre parole gli eucarioti, tra cui anche noi, non sarebbero che un gruppo peculiare di archea, che legandosi in simbiosi con i batteri e trasformandoli in organelli come i mitocondri avrebbero sviluppato un nuovo tipo di architettura cellulare, prerequisito a sua volta per l'evoluzione della vita pluricellulare complessa.

Massimo Sandal

le Scienze

Approfondire non è mai stato così bello.

*Macro
cellula epiteliale*

Le Scienze.it cambia.

Nuovo sito web con articoli e contenuti esclusivi
per un piacere di approfondire mai visto prima.

Offerta promozionale
Le Scienze + Mind
6,99€ al mese.



Il protozoo che reagisce in base alle esperienze

Anche un organismo unicellulare è in grado di prendere decisioni complesse. Oltre un secolo fa, lo zoologo Herbert Jennings aveva mostrato che il protozoo *Stentor roeseli*, per sfuggire a una sostanza irritante nell'acqua, attua diverse strategie, che si succedono secondo un ordine definito se le prime non funzionano: prima si piega lontano dall'irritante restando fissato al supporto a cui aderisce, poi cerca di allontanarlo battendo le ciglia, poi si contrae per schivarlo, e infine si stacca e nuota via. Lo studio però era stato accolto con scetticismo, tanto più dopo una fallita replicazione. Jeremy Gunawardena, biologo alla Harvard University, ha però notato alcune falle nella replicazione e ha ritentato l'esperimento con metodi più moderni, facendo decine di prove in cui variava il numero di protozoi e di stimoli irritanti. Come si legge sulle pagine di «Current Biology», Gunawardena ha così mostrato che le risposte del protozoo variano davvero in base alle esperienze fatte, secondo un ordine gerarchico di massima. «Anche un organismo non neuronale sa elaborare le informazioni per prendere decisioni complesse. Ora si potrà studiare come fa», conclude il biologo. E c'è chi spera che questi studi aiuteranno anche a capire l'origine dei neuroni. (G/Sa)

I cuccioli di orca vivono di più se hanno una nonna

La presenza delle nonne in un gruppo di orche (*Orcinus orca*) aumenta le possibilità di sopravvivenza dei cuccioli. Lo rivela uno studio pubblicato di recente sui «Proceedings of the National Academy of Sciences» da Stuart Natrass, dell'Università di York, in collaborazione con alcuni istituti statunitensi.

I ricercatori hanno analizzato 36 anni di dati su due gruppi di orche residenti nell'Oceano Pacifico, al largo delle coste del Canada, scoprendo che la morte di una nonna può avere conseguenze gravi sulla mortalità dei piccoli. Il motivo sarebbe che le femmine adulte in menopausa, non essendo più impegnate nella riproduzione, possono impiegare tutte le loro energie e il loro tempo per accudire i nipoti. Fanno da *babysitter* in assenza delle madri e svolgono un ruolo chiave nei momenti di scarsità di cibo, essendo più esperte nei territori di caccia. Non è ancora chiara la ragione per cui le femmine di orca e quelle di altre tre specie di mammiferi, esseri umani compresi, abbiano evoluto una fase della vita, talvolta anche molto lunga, dopo la fine del periodo fertile. Scoprire che questa fase favorisce la sopravvivenza delle specie, tramite il cosiddetto «effetto nonna», aiuta a comprenderne il significato evolutivo. (GiAs)



Com'è fatto il letto di roccia sotto l'Antartide

Per capire come evolverà il ghiaccio antartico in seguito al cambiamento climatico, serve anche una mappa precisa del letto di roccia su cui poggia. Per realizzarla, come ha spiegato su «Nature Geoscience», Mathieu Morlighem dell'Università della California ha inserito dati radar, sismici e sul movimento dei ghiacciai, registrati dal 1967 a oggi, in un programma chiamato BedMachine, che li ha usati per elaborare la carta più dettagliata di sempre della superficie rocciosa antartica. Una mappa che ha rivelato, per esempio, che sotto al ghiacciaio Denman, nell'Antartide orientale, c'è un canyon che sprofonda di 3500 metri sotto il livello del mare. «Ma la cosa più importante è stata determinare la conformazione del letto di molti ghiacciai», spiega Morlighem. «Questo ha mostrato che quelli nell'Antartide occidentale, come Thwaites e Pine Island, sono più a rischio di un veloce scioglimento in mare, mentre i ghiacciai del mare di Ross sono più al sicuro, grazie alle valli larghe e poco inclinate in cui scorrono. Tuttavia, è a rischio anche lo stesso Denman, il cui ghiaccio, sciogliendosi, basterebbe da solo a innalzare i mari di 1,5 metri: il suo letto, nel punto in cui incontra il mare, è inclinato verso terra, e questo favorisce la penetrazione dell'acqua e lo scioglimento e scioglimento del ghiaccio», conclude il ricercatore. (A/Sa)



JanelleLugge/Stock (orche), Photodynamic/Stock (Antartide)

Un orologio per la durata della vita dei vertebrati

La **longevità naturale di ogni specie** di vertebrati – dai due mesi del ghiozzo pigmeo *Eviota sigillata* ai quattro secoli di alcuni squali – si può calcolare, con una certa approssimazione, in base alle differenze fra specie e specie in una quarantina di geni. Non si tratta però di differenze nelle sequenze che codificano per le proteine, bensì nei promotori che regolano come sono espressi i geni. E precisamente dalla densità, nei promotori, di sequenze dette GpG, che sono un bersaglio primario di alcune modifiche del DNA (le metilazioni) che determinano appunto quanto sono attivi i geni. Lo dimostra su «Scientific Reports» Benjamin Mayne, del Indian Oceans Marine Research Centre di Crawley in Australia.

Esaminando i genomi di oltre 250 specie di vertebrati, e la rispettiva longevità, Mayne ha individuato 42 geni chiave, che indicano anche la longevità di specie estinte. Il mammut lanoso, per esempio, viveva circa sessant'anni, poco meno dell'elefante africano, mentre i neanderthaliani e i denisovani vivevano circa 38 anni, come i primi esemplari della nostra specie. Non si sa tuttavia se lo stato dei promotori sia una causa della diversa longevità o solo un segno di altri meccanismi alla sua origine, ha precisato Mayne. (*GiSa*)

La resilienza della vita sulla Terra a palla di neve

Circa 700 milioni di anni fa, i primi semplici animali dovettero affrontare una terribile glaciazione, un periodo noto come «Terra a palla di neve» perché quasi l'intero pianeta era ricoperto dai ghiacci. Come ci riuscirono?

Un articolo pubblicato sui «Proceedings of the National Academy of Sciences» fa luce sul mistero. Un gruppo di ricerca guidato da Maxwell A. Lechte della McGill University ha esaminato le rocce ricche di ferro lasciate dai depositi glaciali in Australia, Namibia e California per ricostruire le condizioni ambientali di quell'epoca remota. In particolare, è stata stimata la quantità di ossigeno disciolto in acqua, che è un fattore limitante per la vita marina. Le analisi chimiche hanno fornito prove dirette che l'acqua di fusione glaciale fornì l'ossigeno vitale per i primi animali, tra cui organismi simili a semplici spugne.

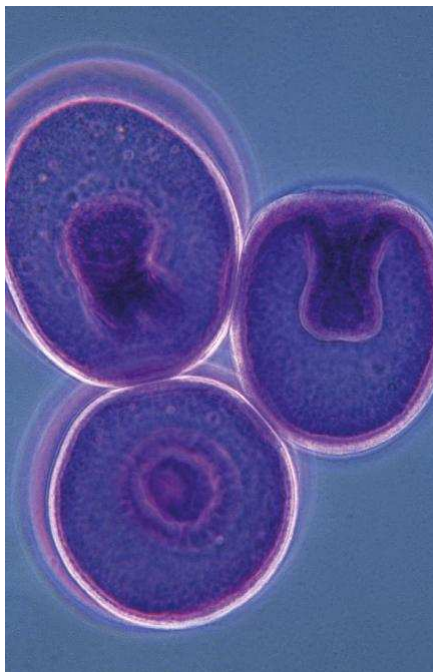
Sebbene gran parte degli oceani durante il congelamento profondo fosse inabitabile a causa dell'anossia, nelle aree in cui la calotta glaciale galleggiava vi fu un continuo rifornimento di acqua ossigenata. La fusione del ghiaccio, infatti, liberava le bolle d'aria intrappolate al suo interno, permettendo alla vita di superare anche questa terribile prova. (*EuMe*)

I virus nel DNA che possono danneggiare la memoria

Il nostro genoma è costituito per l'otto per cento da retrovirus endogeni, sequenze genetiche virali che hanno trovato rifugio nel DNA nel corso del nostro passato evolutivo. Benché non siano più capaci di generare virus infettivi, i retrovirus endogeni non sono relitti silenziosi. I geni per cui codificano possono ancora attivarsi, con conseguenze poco chiare. Uno studio su topi pubblicato sui «Proceedings of the National Academy of Sciences» da Roman Sankowski dello statunitense The Feinstein Institute for Medical Research suggerisce che questi retrovirus possano avere un ruolo nel decadimento cognitivo, in particolare nella perdita di memoria. Gli animali in cui i retrovirus endogeni vengono attivati nel cervello mostrano iperattività e deficit dell'apprendimento, legati all'espressione genetica dei retrovirus nell'ippocampo. Colpevole sembra la proteina MAVS, che induce una risposta infiammatoria in seguito all'attivazione dei retrovirus: bloccandola, si mitigano i danni. Serve cautela nel tradurre questi risultati dai topi a noi, ma negli esseri umani l'infezione da HIV e il cancro sono associati a declino cognitivo e all'attivazione dei retrovirus endogeni. Questi ospiti del nostro genoma potrebbero quindi essere un bersaglio terapeutico da tenere d'occhio. (*MaSa*)

Una mappa epigenetica della gastrula

L'analisi di più di 1000 cellule di topo ha permesso di realizzare la prima mappa epigenetica della gastrula, lo stadio embrionale in cui inizia il differenziamento cellulare. Stephen J. Clark del britannico Babraham Institute e colleghi hanno usato un nuovo approccio computazionale per ottenere una serie di dati da cui ricostruire la sequenza temporale dei cambiamenti epigenetici che, a questo stadio dello sviluppo, alterano la struttura del DNA in ogni singola cellula dell'embrione. Durante la prima settimana di vita gestazionale, le cellule che derivano dallo zigote abbandonano progressivamente lo stato di pluripotenza per intraprendere un processo di specializzazione, sulla scia di una cascata di eventi molecolari che riscrivono le istruzioni per attivare o silenziare l'espressione del genoma. I risultati, pubblicati su «Nature», confermano l'ipotesi, già avanzata in passato, che si tratta di un processo asimmetrico: le cellule che andranno a formare epidermide, organi di senso e sistema nervoso iniziano a differenziarsi molto prima di tutte le altre. (*SaMo*)

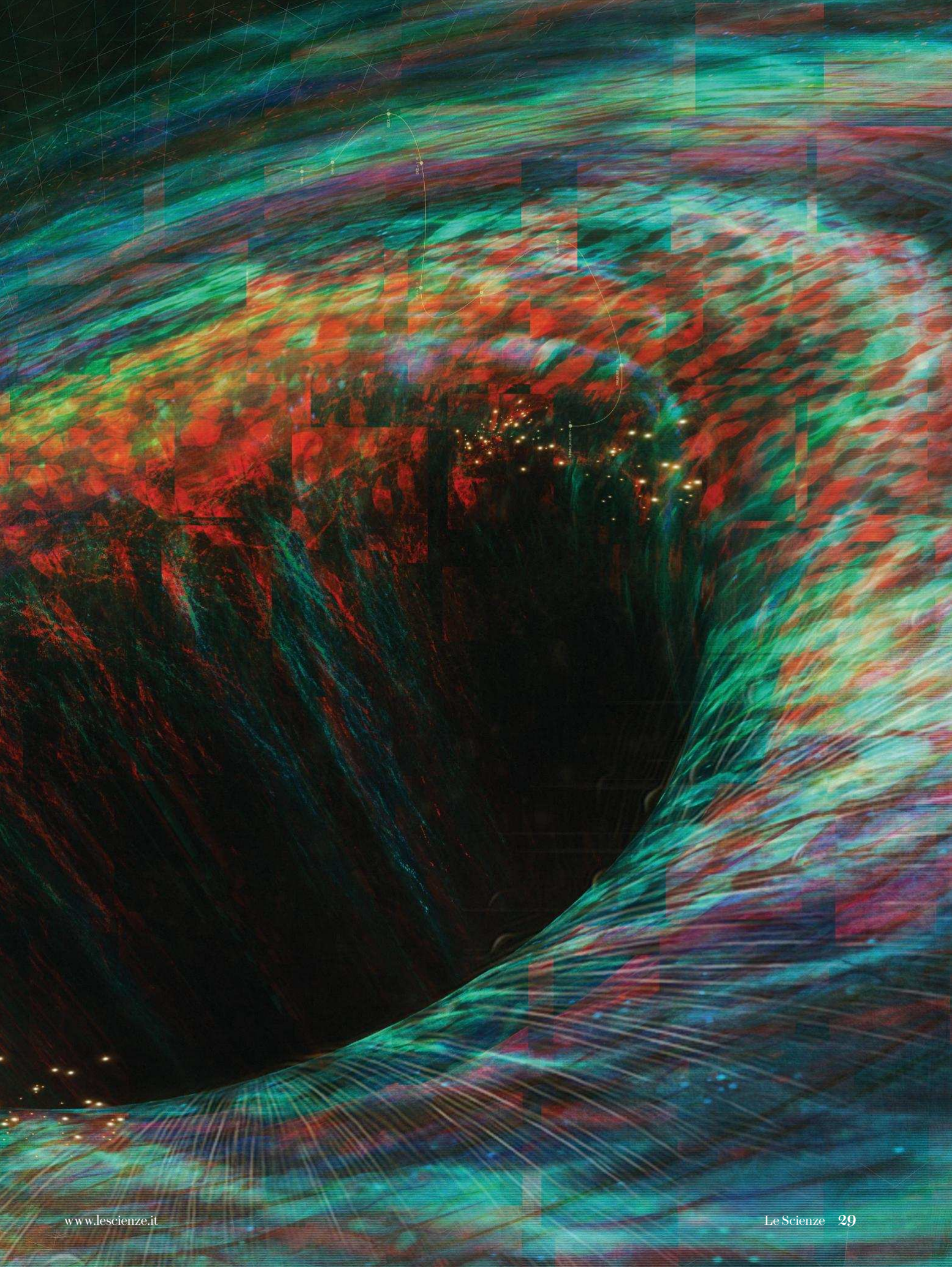


Fuga da un buco nero

Per salvare la meccanica quantistica,
l'informazione deve liberarsi dai buchi neri.
Nuove osservazioni potrebbero aiutarci
a capire come questa fuga sia possibile

di Steven B. Giddings

Illustrazione di Mondolithic Studios



Steven B. Giddings è un fisico quantistico dell'Università della California a Santa Barbara. Si occupa in particolare di teoria delle alte energie, aspetti quantistici della gravità e buchi neri quantistici.



L'umanità ha intravisto per la prima volta un buco nero il 10 aprile 2019. Il gruppo dell'Event Horizon Telescope (EHT), che usa una rete di radiotelescopi che lavorano insieme, distribuiti su tutta la Terra, ha divulgato le immagini che ha ottenuto di un buco nero, con una massa pari a 6,5 miliardi di volte quella del nostro Sole, al centro della vicina galassia M87. È un risultato straordinario: è la prima volta che contempliamo uno degli oggetti più misteriosi dell'universo, previsti da molto tempo ma mai «visti» direttamente. E c'è qualcosa di ancora più entusiasmante: quelle immagini e le osservazioni che seguiranno iniziano a darci nuovi indizi su uno degli enigmi più profondi della fisica.

Si tratta del «paradosso» di quello che accade all'informazione in un buco nero. Studiando il problema i fisici hanno scoperto che la semplice esistenza dei buchi neri è incompatibile con le leggi della meccanica quantistica, che finora descrivono tutto il resto del nostro universo. La soluzione di questa incoerenza può richiedere una rivoluzione concettuale profonda quanto il rovesciamento della fisica classica da parte della meccanica quantistica.

I fisici teorici hanno considerato molte idee, ma finora c'erano poche prove dirette che aiutassero a risolvere questo problema. La prima immagine di un buco nero, invece, inizia a offrire dati reali su cui basare le nostre teorie. Le future osservazioni di EHT, in particolare quelle che possono mostrare come i buchi neri evolvono nel tempo, e le recenti rilevazioni di collisioni tra buchi neri da parte degli osservatori di onde gravitazionali potrebbero fornirci nuovi dati importanti e contribuire a inaugurare una nuova era della fisica.

Il problema dell'informazione

Per quanto profondamente misteriosi, i buchi neri sembrano onnipresenti nel cosmo. Le osservazioni di EHT e le misurazioni tramite le onde gravitazionali sono solo le prove più recenti e più solide del fatto che a quanto pare i buchi neri, nonostante sembrano qualcosa di fantastico, sono effettivamente reali e anche molto comuni. La loro stessa esistenza minaccia però le attuali basi della fisica. Si ritiene che i principi di base della meccanica quantistica governino tutte le altre leggi della natura, ma quando li si applica

ai buchi neri portano a una contraddizione, mettendo in luce un difetto nella forma attuale di queste leggi.

Il problema emerge da una delle domande più semplici che ci possiamo porre sui buchi neri: che cosa succede a quello che ci cade dentro? Per spiegarlo per bene serve un po' di attenzione. Innanzitutto, secondo le attuali leggi della meccanica quantistica materia ed energia possono spostarsi tra forme diverse: le particelle possono per esempio trasformarsi in altri tipi di particelle. Ma se c'è qualcosa di sacro, che non viene mai distrutto, è l'informazione quantistica. Se conosciamo la descrizione quantistica completa di un sistema dovremmo sempre essere in grado di determinarne esattamente la descrizione quantistica precedente o successiva senza perdita di informazioni. Quindi una domanda più precisa è: che cosa succede all'informazione quantistica che cade in un buco nero?

Quello che sappiamo dei buchi neri viene dalla teoria generale della relatività di Albert Einstein, secondo cui la gravità emerge dalla curvatura dello spazio-tempo; un modo comune per visualizzare questa idea è una palla pesante che deforma la superficie di un telo elastico. Questa deformazione dello spazio-tempo fa curvare le traiettorie dei corpi dotati di massa e della luce, e la chiamiamo gravità. Se la massa è concentrata a sufficienza in un'area abbastanza piccola, la vicina deformazione spazio-temporale è così forte che la luce stessa non può sfuggire dalla regione compresa all'interno di quello che chiamiamo orizzonte degli eventi: abbiamo un buco nero. E se nulla può viaggiare più veloce della luce,

IN BREVE

Secondo la meccanica quantistica, l'informazione non può essere mai distrutta. Tuttavia, quando vengono unite alla teoria generale della relatività di Albert Einstein, anche

le regole quantistiche affermano che i buchi neri distruggono informazione.

Sono state proposte modifiche all'immagine classica dei buchi neri

che potrebbero risolvere questo paradosso, però mancano prove per verificarle.

Tutto questo sta cambiando con il nuovo Event Horizon Telescope, che

ha ottenuto la prima immagine di un buco nero, resa pubblica ad aprile 2019, nonché con le misurazioni delle onde gravitazionali di collisioni fra buchi neri.

Una questione di informazione

I buchi neri sono stati previsti dalla relatività generale e ci sono crescenti prove astrofisiche che ne confermano l'esistenza. Nel 1974, però, Stephen Hawking sostenne che a un certo punto della sua esistenza un buco nero evapora. In tal caso, tutto ciò che ci cade dentro finisce distrutto, comprese le informazioni contenute nella materia. Il problema è che la meccanica quantistica e la conservazione dell'energia vietano la distruzione dell'informazione. In risposta, i fisici hanno formulato diverse ipotesi su come modificare la nostra idea dei buchi neri per renderli compatibili con la fisica quantistica.



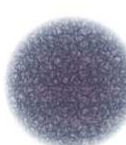


	Ipotesi	Descrizione	Problema
L'informazione viene distrutta	Buco nero «classico»  Orizzonte degli eventi	Buco nero con un orizzonte degli eventi; le informazioni che entrano nel buco nero sono distrutte quando il buco nero evapora.	Contraddice la meccanica quantistica e la conservazione dell'energia, secondo cui l'informazione non si può distruggere.
	Capelli soffici  Impronta dell'informazione	L'informazione non entra completamente nel buco nero ma lascia invece un'«impronta» appena al di fuori dell'orizzonte degli eventi.	La maggior parte degli esperti non considera questa ipotesi come una soluzione convincente.
L'informazione non viene distrutta	Fuzzball 	Un tipo di residuo massiccio in cui l'orizzonte del buco nero è sostituito da stringhe e geometria di dimensione superiore.	Tutti e tre questi scenari richiedono una modifica del concetto abituale di località, ovvero l'idea che nulla, compresa l'informazione, può viaggiare più velocemente della luce.
	Firewall  Muro di particelle	Un tipo di residuo massiccio in cui un «muro» di particelle ad alta energia sostituisce l'orizzonte; non c'è l'interno di un buco nero.	
	Alone quantistico 	Un buco nero quantistico interagisce con l'ambiente circostante, forse tramite fluttuazioni nello spazio-tempo, permettendo all'informazione di uscire.	

Illustrazione di Amanda Montañez

compresa l'informazione, tutto deve rimanere bloccato in questo limite. I buchi neri diventano pozzi cosmici senza fondo che intrappolano l'informazione insieme alla luce e alla materia.

Ma non finisce qui. Quella che è forse la scoperta più importante di Stephen Hawking è la sua previsione del 1974 per cui i buchi neri evaporano. Ne seguirebbe l'idea sorprendente che i buchi neri distruggano l'informazione quantistica. Secondo la meccanica quantistica appaiono continuamente, ovunque, coppie di «particelle virtuali». In genere una coppia di questo tipo, costituita da una particella e dalla sua controparte di antimateria, si annichilisce nel giro di pochissimo tempo, ma se si forma vicino all'orizzonte di un buco nero una particella potrebbe apparire all'interno della frontiera e l'altra all'esterno. La particella esterna se ne può allontanare, portando via energia. La legge di conservazione dell'energia ci dice che il buco nero ha quindi perso energia; dunque l'emissione di queste particelle fa sì che il buco nero si riduca nel tempo fino a quando non scompare completamente. Il problema è che le particelle in fuga, note come radiazione di Hawking, non portano sostanzialmente nessuna informazione su quello che è finito nel buco nero. I calcoli di Hawking sembrano così mostrare che l'informazione quantistica che cade in un buco nero venga prima o poi distrutta, contraddicendo la meccanica quantistica.

Questa rivelazione ha innescato una profonda crisi in fisica. In precedenza, simili crisi sono state seguite da grandi progressi: per esempio, all'inizio del XX secolo la fisica classica sembrava prevedere l'inevitabile instabilità degli atomi, in evidente contraddizione con l'esistenza della materia stabile. Questo problema ha svolto un ruolo chiave nella rivoluzione quantistica. Secondo la fisica classica, poiché gli elettroni in orbita all'interno degli atomi cambiano costantemente direzione, allora dovevano emettere in continuazione radiazione, perdendo energia e scendendo a spirale verso il nucleo. Ma nel 1913 Niels Bohr ipotizzò che gli elettroni in realtà si muovano solo lungo orbite quantizzate, quindi non possano cadere a spirale. Questa idea rivoluzionaria contribuì a stabilire le basi della meccanica quantistica, che riscrisse le leggi fondamentali della natura. Sembra sempre di più che la crisi del buco nero possa portare allo stesso modo a un altro cambiamento di paradigma in fisica.

Alternative quantistiche

Quando Hawking prevede l'evaporazione dei buchi neri, ipotizzò che la meccanica quantistica potesse essere sbagliata e che fosse possibile distruggere l'informazione. I fisici però capirono presto che un cambiamento del genere avrebbe richiesto una drastica violazione del principio della conservazione dell'energia, che avrebbe invalidato disastrosamente la nostra attuale descrizione dell'universo. A quanto pareva la soluzione andava cercata altrove.

Un'altra idea era che i buchi neri non evaporino del tutto, bensì smettano di restringersi a dimensioni minuscole, lasciandosi dietro residui microscopici contenenti le informazioni originali. Ci si rese però conto che, se fosse vero, da alcuni principi di base della fisica quantistica deriverebbero instabilità catastrofiche che farebbero esplodere la materia ordinaria in analoghi residui, contraddicendo ancora una volta l'esperienza quotidiana.

Ovviamente c'è qualcosa che non va. Si è tentati di concludere che il difetto sia nell'analisi originaria di Hawking e che in qualche modo le informazioni sfuggano da un buco nero quando emette la radiazione di Hawking. Qui il problema è che questo scenario sarebbe in conflitto con un concetto di base della fisica, il principio



di località, che afferma che l'informazione non può spostarsi da un luogo all'altro in modo superluminale, cioè a velocità maggiore di quella della luce. D'altronde, secondo la nostra definizione di buco nero, l'unico modo per sfuggirne richiederebbe di muoversi più velocemente della luce; quindi, se l'informazione sfugge, deve farlo superluminale, in conflitto con la località. Negli oltre quarant'anni trascorsi dalla scoperta di Hawking, i fisici hanno cercato di trovare qualche scappatoia che rimanga all'interno della fisica convenzionale, ma non ne hanno scoperta nessuna.

Quella che c'è arrivata più vicino è una proposta del 2016 di Hawking, Malcolm Perry e Andrew Strominger, che ipotizza che, per via di un errore nell'analisi originale, l'informazione non entra mai del tutto in un buco nero, lascia invece una sorta di impronta sotto forma di quelli che hanno chiamato «capelli soffici» (in riferimento al teorema «no-hair», dell'assenza di capelli) al di fuori

del buco. Un esame più attento sembra però escludere anche questa soluzione: la maggior parte degli esperti non crede che questa sia la risposta. Insomma, a quanto pare serve qualcosa di ancora più innovativo.

Un'idea ovvia è che ci sia qualche motivo fisico sconosciuto per cui è impossibile che esistano veri buchi neri. L'idea tradizionale della formazione di un buco nero dice che quando una stella molto grande si spegne e muore la sua massa collassa sotto la forza di gravità fino a che diventa un buco nero. Ma che cosa succede se non raggiunge mai questa fase e si trasforma in realtà in un oggetto con un comportamento «migliore»? Sappiamo già che quando stelle di massa inferiore, come il nostro Sole, si esauriscono e collassano, non formano buchi neri, bensì generano resti densi, come le nane bianche o le stelle di neutroni. Forse ci sono leggi fisiche ignote che impediscono anche alle stelle più grandi di for-



mare buchi neri e le portano invece a diventare un «residuo massiccio», qualcosa di più simile a una stella di neutroni che a un buco nero.

Il problema di questa ipotesi è che non siamo in grado di spiegare che cosa renderebbe stabili oggetti del genere; nessun fenomeno fisico noto ne potrebbe impedire la prosecuzione del collasso per effetto della gravità, ed eventuali fenomeni fisici congetturali in grado di farlo sembrano richiedere scambi di segnali superluminali da una parte all'altra della materia che sta collassando. In realtà, grandi buchi neri tradizionali possono formarsi anche a partire da una materia a densità molto bassa. Per dare un'idea, se il buco nero con una massa pari a 6,5 miliardi quella del Sole che si trova in M87 fosse emerso dal collasso di una nube di polvere (il che è teoricamente possibile, ma il processo reale è stato presumibilmente più complesso), sarebbe accaduto quando la

La gravità devia la luce attorno al buco nero al centro della galassia M87 in questa immagine già storica ottenuta dall'Event Horizon Telescope.

polvere avesse raggiunto la stessa densità che ha l'aria in cima al monte Everest. Per inciso, l'aria in cima all'Everest non forma un buco nero perché non ce n'è abbastanza; ne servirebbero 6,5 miliardi di masse solari. In una situazione in cui la densità è così bassa dovrebbe prendere il sopravvento qualche nuovo processo fisico drastico e superluminale, per convertire istantaneamente la nube che sta collassando in un residuo massiccio anziché permettere la formazione di un buco nero.

Un'idea imparentata è che qualcosa faccia trasformare i buchi neri in residui massicci che contengono le informazioni originali, dopo la formazione e ben prima che evaporino. Ma anche questa possibilità richiede il trasferimento non locale di informazione dall'interno del buco nero iniziale al residuo finale.

Nonostante i problemi presentati da questi scenari, i fisici li hanno studiati a fondo. Per esempio nel 2003 Samir Mathur ha avanzato una proposta basata sulla teoria delle stringhe (secondo cui le particelle fondamentali sono minuscole stringhe). L'idea di Mathur è che un buco nero si trasformi in una *fuzzball* (palla di pelo), un tipo di residuo massiccio, o che si formi direttamente una fuzzball invece di un buco nero. Grazie alla sofisticata fisica della teoria delle stringhe e al fatto che prevede un numero di dimensioni spazio-temporali maggiori delle quattro tradizionali, le fuzzball potrebbero avere una complessa geometria di dimensione superiore; invece del netto confine tradizionale di un buco nero all'orizzonte degli eventi, una fuzzball avrebbe un confine più sfocato e più ampio in cui si incontrano stringhe e geometria di dimensione superiore.

In alternativa, una versione più recente di uno scenario basato sui residui è la proposta che, invece di un buco nero con un orizzonte degli eventi, si formi un residuo massiccio con una superficie *firewall* (muro di fuoco) formata da particelle ad alta energia dove ci sarebbe l'orizzonte. Qualunque cosa entrasse in contatto con questo firewall verrebbe incenerita e trasformata in energia pura che si aggiungerebbe alla superficie. Sia il firewall che la fuzzball, però, condividono il problema di aver bisogno di una violazione della località, e gli oggetti che ne risulterebbero avrebbero altre proprietà molto difficili da spiegare.

Modificare la località

Un tema ricorrente nelle proposte centrate sui residui massicci è che per salvare la meccanica quantistica sembra necessario violare il principio di località. Farlo senza la dovuta attenzione, però, promette di essere disastroso quanto modificare la meccanica quantistica e, anzi, porta in genere a un altro paradosso. In particolare, le leggi della relatività dicono che se inviamo un segnale più veloce della luce in uno spazio vuoto e piatto, gli osservatori che ci passano accanto a una velocità sufficientemente elevata vedranno il segnale muoversi indietro nel tempo. Il paradosso sorge perché questi segnali superluminali ci consentirebbero di inviare un messaggio nel passato, per esempio per chiedere a qualcuno di uccidere nostra nonna prima della nascita di nostra madre.

Anche se questo tipo di soluzione sembra contraddire i principi fisici fondamentali, vale la pena studiarla più da vicino. Modificare la località sembra folle, ma non abbiamo trovato nessuna alternativa che non lo sembri. La serietà della crisi del buco nero ci spinge con forza a cercare una soluzione tramite una sottile vio-

lazione del principio di località che non produca paradossi simili. Detto in altri termini, la meccanica quantistica implica che l'informazione non venga mai distrutta, quindi le informazioni che cadono in un buco nero devono prima o poi sfuggire, eventualmente attraverso nuove, sottili «delocalizzazioni» dell'informazione che potrebbero chiarirsi quando finalmente troveremo un modo per unificare la meccanica quantistica e la gravità, uno dei problemi più profondi della fisica odierna. In realtà abbiamo anche altri motivi per pensare che possa esistere una simile sottigliezza. L'idea stessa di informazioni localizzate – che possono esistere in un luogo e non in un altro – è più delicata nelle teorie che includono la gravità rispetto a quelle che non la includono, perché i campi gravitazionali si estendono all'infinito, complicando il concetto di localizzazione.

Se l'informazione sfugge dai buchi neri, allora potrebbe non richiedere modifiche alla fisica così ovvie e nette come la formazione di un residuo massiccio, che sia una fuzzball, un firewall oppure altro. Le prove sempre più numerose a favore dei buchi neri fanno ritenere che nell'universo ci siano veramente oggetti che somigliano ai buchi neri classici e si comportano proprio come questi, senza allontanarsi di molto dalle previsioni di Einstein. È possibile che la relatività generale sia così drasticamente sbagliata nella sua descrizione dei buchi neri, o potrebbero piuttosto esser-

nicazione con il passato non vale più. Queste possibilità sono allettanti anche da un altro punto di vista: il principio di località ci proibisce di viaggiare più veloci della luce e la meccanica quantistica dei buchi neri sembra dirci che ci sia qualcosa di sbagliato nell'attuale formulazione di questo principio.

Riscrivere le leggi della fisica

Finora uno scenario simile che prevede un alone quantistico non è stato previsto da una teoria più completa della fisica che riconcili la meccanica quantistica con la gravità, ma è fortemente suggerito dalla necessità di risolvere il problema e da ipotesi basate su quello che vediamo. Se uno scenario di questo tipo è corretto, probabilmente rappresenta una descrizione approssimativa di una realtà più profonda. Sembra che il nostro stesso modo di concepire lo spazio e il tempo, che sono alla base del resto della scienza, richiedano una revisione significativa. Gli attuali studi per comprendere i buchi neri potrebbero essere analoghi ai primi tentativi di Bohr e altri di dare un modello dell'atomo. Anche quelle prime descrizioni atomiche erano approssimative e solo successivamente avrebbero portato alla profonda struttura teorica della meccanica quantistica. Modificare la località sembra una follia, ma ci può confortare il fatto che pure le leggi della meccanica quantistica sembravano folli ai fisici classici che si confrontarono con la loro scoperta.

Data l'immensa difficoltà di appurare la storia dei buchi neri quantistici e la teoria più completa che li descrive, noi fisici abbiamo fame di prove sperimentali e osservative che contribuiscano a guidarci. I progressi più recenti hanno dato all'umanità due

Sembra che il nostro stesso modo di concepire lo spazio e il tempo, che sono alla base del resto della scienza, richieda una revisione significativa

ci effetti più innocui, attualmente sconosciuti, che delocalizzano l'informazione e le permettono di uscire dai buchi neri, anziché dover invocare un completo fallimento dell'intera immagine dello spazio-tempo?

Nel mio recente lavoro teorico ho trovato due versioni di effetti di questo tipo. Una possibilità è che la geometria dello spazio-tempo sia alterata vicino a un buco nero, e si pieghi e si increspi in un modo che dipende dall'informazione contenuta nel buco nero, ma delicatamente, tanto che non distruggerebbe, per esempio, un astronauta che attraversasse la regione in cui si trova normalmente l'orizzonte. In questo scenario «forte, non violento», lo sfavillio dello spazio-tempo può trasferire le informazioni all'esterno. Ho però anche scoperto che c'è un modo più sottile, intrinsecamente quantistico, per permettere all'informazione di sfuggire al buco nero. In questo scenario «debole, non violento», anche minuscole fluttuazioni quantistiche della geometria dello spazio-tempo vicino al buco nero possono trasferire informazioni alle particelle emanate dal buco. Il fatto che il trasferimento di informazione sia pur sempre grande a sufficienza per salvare la meccanica quantistica è legato all'enorme quantità di informazione che un buco nero può contenere. In entrambi questi scenari un buco nero è di fatto circondato da un «alone quantistico», in cui le interazioni restituiscono informazione ai dintorni.

In particolare questi scenari, nonostante sembrano richiedere un trasferimento superluminale di informazione, non producono necessariamente un paradosso della nonna. I segnali portatori di informazioni sono qui legati all'esistenza del buco nero, che ha una geometria dello spazio-tempo diversa da quella dello spazio piatto, cosicché il ragionamento che abbiamo visto sulla comu-

entusiasmanti finestre di osservazione diretta sul comportamento dei buchi neri. Oltre alle immagini dell'EHT, il Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory (LIGO) e altre strutture con cui collabora [come Virgo, costruito in Italia, N.d.R.] hanno iniziato a rilevare le onde gravitazionali da collisioni apparentemente avvenute fra buchi neri. Queste onde portano con sé informazioni preziose sulle proprietà e sul comportamento degli oggetti che le hanno prodotte.

Da un punto di vista ingenuo, sembra assurdo che EHT o LIGO possano rilevare deviazioni rispetto alla descrizione dei buchi neri data da Einstein. Tradizionalmente ci si aspettava che la sua teoria avesse bisogno di modifiche solo quando la curvatura dello spazio-tempo diventa enorme, vicino al centro di un buco nero; la curvatura è invece molto debole all'orizzonte di un grande buco nero. Ma la crisi dell'informazione di cui ho parlato ci induce a pensare in un altro modo. Gran parte della comunità teorica concorda ormai sul fatto che siano necessarie alcune modifiche alle attuali leggi della fisica, non solo per descrivere i fenomeni nelle profondità all'interno di un buco nero, ma appena oltre l'orizzonte. A quanto pare, abbiamo passato il Rubicone. Nel caso del buco nero in M87, la distanza a cui ci aspettiamo di trovare deviazioni dalle previsioni classiche è varie volte più grande del nostro sistema solare.

LIGO ed EHT hanno già escluso alcune possibilità più estreme che si potrebbero considerare per fornire una descrizione logicamente coerente dei buchi neri. In particolare, se al posto dei buchi neri ci fossero residui massicci di diametro circa il doppio del presunto buco nero, ne avremmo visti segni nei dati di entrambi gli esperimenti. Nel caso di EHT, gran parte della luce che ha prodot-

to l'immagine ormai famosa proviene da una regione di diametro circa una volta e mezzo quello dell'orizzonte degli eventi. Analogamente, per LIGO parte del segnale delle onde gravitazionali che rileviamo viene prodotto nella regione in cui gli oggetti che collidono raggiungono separazioni analogamente piccole. Sebbene lo studio di questi segnali sia ancora nelle sue prime fasi, EHT e LIGO hanno rivelato oggetti molto scuri e molto compatti che producono segnali del tutto analoghi a quelli previsti per i buchi neri classici.

È però importante indagare con più attenzione questi segnali. Un'analisi sufficientemente accurata potrebbe infatti scoprire ulteriori indizi sulla fisica quantistica dei buchi neri. Anche se non si osservano nuovi effetti, avremo comunque informazioni che limitano le possibili descrizioni del loro comportamento quantistico.

I residui con un diametro maggiore di un certo limite sono ora esclusi. Che dire però degli scenari relativi a residui che modificano la descrizione del buco nero solo molto vicino all'orizzonte? Una trattazione completa richiederebbe una teoria più ampia su questi residui – come fuzzball e firewall – tuttavia abbiamo alcuni indicatori iniziali. In particolare, se questi oggetti hanno raggi appena maggiori di quello dell'orizzonte del corrispondente buco nero, è probabile che né le osservazioni di EHT né quelle di LIGO siano in grado di rivelare strutture di questo tipo, perché dalla

volte più grande, è dell'ordine delle decine di giorni. Il nostro studio fa ritenere che dovremmo cercare queste distorsioni usando osservazioni di EHT di durata maggiore rispetto ai sette giorni previsti inizialmente per il progetto. Se saranno trovate dall'esperimento, queste distorsioni sarebbero un indizio spettacolare per la fisica quantistica dei buchi neri. Se non compariranno, questo fatto potrebbe indirizzarci verso il più sottile scenario quantistico debole oppure qualcosa di ancora più esotico.

Lo scenario debole non violento è più difficile da verificare per via dell'entità inferiore delle variazioni attese della geometria. Tuttavia le indagini preliminari mostrano che questo scenario può alterare il modo in cui le onde gravitazionali sono assorbite o riflesse, rendendo possibile una variazione osservabile nei segnali delle onde gravitazionali.

Se uno dei due scenari è corretto, impareremo qualcosa di nuovo non solo sulla natura dei buchi neri quantistici, ma anche sulle leggi più profonde della natura. Al momento non capiamo appieno come dobbiamo pensare alla localizzazione delle informazioni quando sono presenti campi gravitazionali. La fisica quantistica suggerisce che lo spazio-tempo stesso non sia una parte fondamentale della fisica, ma emerga invece solo come approssimazione di una struttura matematica più fondamentale. Le prove di effetti quantistici nei buchi neri potrebbero contribuire a rendere questo concetto più concreto.

Per saperne di più, è importante estendere e migliorare sia le misurazioni di EHT che delle onde gravitazionali. Per EHT sarebbe utile avere osservazioni di durata significativamente maggiore, nonché immagini di altri oggetti, come il buco nero centrale della nostra

Come per gli atomi e la meccanica quantistica, una migliore comprensione dei buchi neri contribuirà a guidare la prossima rivoluzione concettuale in fisica

regione prossima all'orizzonte esce pochissima luce o radiazione gravitazionale.

Una possibile eccezione è l'eventualità di «echi gravitazionali». Come suggerito per la prima volta nel 2016 da Vitor Cardoso dell'Università di Lisbona, Edgardo Franzin dell'Università di Barcellona e Paolo Pani della «Sapienza» Università di Roma, se due di questi residui si uniscono formando un residuo finale con proprietà simili, sulla superficie del residuo unito possono riflettersi le onde gravitazionali, che sarebbe così possibile osservare. D'altro canto, mentre la maggior parte degli scenari vicini all'orizzonte è difficile da escludere tramite le osservazioni, in questo caso è difficile spiegare come strutture simili possano essere stabili anziché collassare sotto il loro stesso peso e formare buchi neri. Naturalmente questo è un problema generale per tutti gli scenari con residui massicci, ma diventa ancora più arduo in presenza delle forze estreme di una collisione del genere.

Ci sono prospettive migliori per testare scenari in cui le nuove interazioni si comportano come sottili modifiche della geometria dello spazio-tempo ma si estendono ben oltre l'orizzonte. Per esempio, nello scenario forte non violento l'increspatura dell'alone quantistico di un buco nero può distorcere la luce che gli passa vicino. Se questo scenario è corretto, lo scintillio potrebbe provocare distorsioni nelle immagini dell'EHT che variano nel tempo.

Nel mio lavoro insieme a Dimitrios Psaltis, del gruppo di EHT, abbiamo scoperto che queste variazioni possono avvenire nell'arco di circa un'ora per il buco nero al centro della nostra galassia. Poiché EHT ottiene medie su osservazioni di più ore, effetti di questo tipo possono essere difficili da rilevare. La corrispondente durata delle fluttuazioni per il buco nero in M87, che è più di 1000

galassia, entrambe previste. Per le onde gravitazionali, sarebbero utili più osservazioni con maggiore sensibilità; ci andremo vicini quando entreranno in funzione ulteriori rivelatori in Giappone e in India, che si aggiungeranno alle strutture esistenti negli Stati Uniti e in Europa. Inoltre è necessario un grande lavoro teorico complementare per affinare gli scenari, chiarirne meglio le origini e le cause, e valutare più a fondo la questione di quanto possano influire significativamente sui segnali di EHT oppure delle onde gravitazionali.

Qualunque sia la soluzione alla crisi, i buchi neri custodiscono indizi cruciali sulla fisica quantistica fondamentale della gravità, nonché sulla natura stessa dello spazio e del tempo. Come per gli atomi e la meccanica quantistica, una migliore comprensione dei buchi neri contribuirà a guidare la prossima rivoluzione concettuale in fisica. Le osservazioni di EHT e delle onde gravitazionali hanno il potenziale per fornirci informazioni chiave, escludendo alcuni scenari quantistici sui buchi neri o scoprendo nuovi fenomeni a essi associati. ■

PER APPROFONDIRE

Particle Creation by Black Holes. Hawking S.W., in «Communications in Mathematical Physics», Vol. 43, n. 3, pp. 199-220, agosto 1975.

Jerusalem Lectures on Black Holes and Quantum Information. Harlow D., in «Reviews of Modern Physics», Vol. 88, articolo n. 015002, febbraio 2016.

Black Holes in the Quantum Universe. Giddings S.B., in «Philosophical Transactions of the Royal Society A», Vol. 377, articolo n. 20190029, novembre 2019.

Anelli di fuoco. Polchinski J., in «Le Scienze» n. 562, giugno 2015.

Il costo dei batteri

La resistenza agli antibiotici causa un numero di decessi record in Italia e pesa sempre di più sulle casse del sistema sanitario

*di Alessandro Cassini
e Michele Cecchini*

IN BREVE

I batteri possono sviluppare la capacità di resistere all'azione degli antibiotici. Questo fenomeno è ormai un grave problema di salute globale, ed è fortemente correlato all'abuso e alla prescrizione eccessiva di questi farmaci.

Gli autori hanno stimato l'impatto dell'antibiotico-resistenza in Europa, fornendo un quadro preoccupante. Quasi un terzo dei decessi dovuti a infezioni da batteri resistenti agli antibiotici è stato registrato in Italia. Inoltre, in Italia e in Grecia l'impatto sulla salute delle infezioni antibiotico-resistenti è il più alto in Europa. Nel nostro paese, infine, la spesa per trattare le conseguenze di questo fenomeno è più che doppia rispetto alla media dei paesi dell'Unione Europea.

È quindi necessario mettere in atto strategie per contrastare sia la diffusione e l'ulteriore sviluppo dell'antibiotico-resistenza sia lo tsunami di superbatteri che sta lentamente ma inesorabilmente arrivando.





SPL/AGF

Alessandro Cassini è medico ed epidemiologo esperto di malattie infettive, antibiotico-resistenza e infezioni ospedaliere. Ha lavorato per il Centro europeo per la prevenzione e il controllo delle malattie, un'agenzia dell'Unione Europea, e dal 2019 lavora all'Organizzazione mondiale della Sanità a Ginevra.

Michele Cecchini è medico specializzato in igiene e medicina preventiva ed economia sanitaria, dirige il programma di lavoro sulla salute pubblica dell'Organizzazione per la cooperazione e lo sviluppo economico (OCSE).

Le opinioni espresse e le argomentazioni usate in quest'articolo sono esclusivamente degli autori e non riflettono necessariamente le opinioni ufficiali dell'OCSE o dei suoi paesi membri. (Gli autori ringraziano Giovanni Mancarella per il supporto tecnico e Giuseppe Cassini per il supporto linguistico.)



Paolo si stava godendo la giornata di sole a bordo della sua barca, in navigazione verso l'isola di Ponza, al largo del Lazio. Arrivato a destinazione cominciò a sentire fastidio e dolore alle vie urinarie. «Non ho bevuto abbastanza, il sole, il caldo... Insomma, sarò disidratato. Adesso bevo e passa tutto». Invece cominciò ad avere febbre e brividi, e il cognato medico, in vacanza anche lui, gli prescrisse un antibiotico usato per le infezioni delle vie urinarie, la ciprofloxacina. Inaspettatamente, dopo tre giorni Paolo aveva ancora febbre e dolori.

Di ritorno a Roma si fece visitare in un grande ospedale della città, dove un laboratorio analizzò l'urina per verificare la presenza di batteri. Si scoprì che Paolo era infettato da un batterio che si trova comunemente nel corpo: *Escherichia coli*. L'antibiogramma, un esame che valuta la sensibilità di un batterio a un determinato antibiotico, indicava che quel tipo di *E. coli* produceva beta-lattamasi ad ampio spettro («extended-spectrum beta-lactamase», o ESBL), enzimi che rendevano questi batteri resistenti a molti antibiotici, compresa la ciprofloxacina. Paolo però era allergico ad alcuni antibiotici efficaci contro *E. coli* ESBL, così dovette sottoporsi a quattro settimane di una combinazione di altri antibiotici (amoxicillina-acido clavulanico) non priva di effetti collaterali.

Paolo è stato fortunato, è una persona altrimenti sana e la sua infezione è stata diagnosticata e contenuta prima che potesse diventare pericolosa. Ma molte persone che contraggono infezioni resistenti agli antibiotici sono bambini e anziani ospedalizzati per malattie croniche, ai quali a volte viene dato tardi il giusto antibiotico, visti i tempi necessari per effettuare gli antibiogrammi.

Come misurare gli effetti

La resistenza agli antibiotici è la capacità dei batteri di contrastare l'azione di uno o più di questi farmaci. È importante capire che esseri umani e altri animali non sviluppano resistenza agli antibiotici, sono i batteri trasportati da esseri umani e animali che possono svilupparla. I batteri sono organismi unicellulari con un DNA solitamente semplice, che ne assicura la riproduzione. Come succede spesso, il DNA può subire mutazioni oppure acquisire nuovi geni da altri microrganismi tramite plasmidi (piccole frazioni di DNA contenenti uno o più geni). Quando vengono messi sotto pressione selettiva dovuta alla presenza di antibiotici, i batteri che hanno acquisito una maggiore capacità di resistenza (per mu-

tazione o per trasferimento genetico) avranno una maggiore possibilità di sopravvivere e occuperanno l'ambiente lasciato libero dai batteri che invece sono stati eliminati dalla terapia. Quindi, per curare infezioni provocate da quei batteri resistenti bisognerà somministrare altri antibiotici a cui sono sensibili. Se acquisiscono resistenza anche alla nuova classe di antibiotici (in questo caso si parla di organismi multi-resistenti), bisognerà passare a una nuova classe ancora di antibiotici, e così via fino ad arrivare a batteri resistenti a tutti gli antibiotici (organismi pan-resistenti). Gli antibiotici indicati devono essere somministrati correttamente, con la dose prescritta e in ogni caso seguendo le indicazioni del medico su tempi e modalità d'impiego.

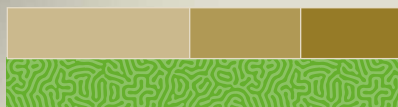
Dunque, la caratteristica principale della resistenza agli antibiotici è che non si tratta di una malattia, ma di un fenomeno correlato all'abuso e alla prescrizione eccessiva di questi farmaci. Altre caratteristiche dell'antibiotico-resistenza vanno sotto il nome di «One Health». Il termine indica il fatto che molti di questi batteri infettano anche gli animali o si trovano comunemente nell'ambiente o, ancora, che si verificano entrambi gli scenari precedenti. Quando si somministrano antibiotici in modo inappropriato ad animali da compagnia e ad animali dell'industria agroalimentare, i batteri possono diventare resistenti e infettare le persone che sono in contatto con quell'ambiente, con quegli animali o con la loro carne. Per questo motivo nei paesi dell'Unione Europea, ma anche in Islanda, Liechtenstein e Norvegia (membri dello Spazio economico europeo, o SEE), dal gennaio 2006 è vietato l'uso di antibiotici come fattori di crescita per gli animali ed è in vigore una lista ristretta di antibiotici che possono essere prescritti dai veterinari. Oltretutto le malattie infettive hanno la capacità di viaggiare insieme ai loro ospiti, spesso senza provocare alcun sintomo. Per esempio, batteri resistenti che hanno colonizzato il colon di

Resistenze microscopiche ma pericolose

La resistenza agli antibiotici è l'abilità dei batteri di combattere l'azione di uno o più antibiotici. Gli autori hanno descritto uno scenario per l'impatto di questo fenomeno in Europa (*illustrazione*) e hanno anche proposto alcune soluzioni per invertire il corso dell'antibiotico-resistenza,

L'impatto sulla popolazione europea delle infezioni con batteri resistenti agli antibiotici è paragonabile a quello combinato di influenza, tubercolosi e HIV/AIDS.

Influenza Tubercolosi HIV/AIDS



Resistenza agli antibiotici



Antibiotici di ultima linea

39%

dell'impatto è dovuto a infezioni da batteri resistenti ad antibiotici di ultima linea, come carbapenemi e colistina, ovvero l'ultima opzione di trattamento disponibile.

Soluzioni

C'è ancora tempo per invertire il corso dell'antibiotico-resistenza e assicurarsi che gli antibiotici rimangano efficaci in futuro, tramite:



uso prudente degli antibiotici e solo in caso di necessità;



messa in atto di buone pratiche di prevenzione e controllo delle infezioni, inclusa l'igiene delle mani come anche lo screening per la presenza di infezioni con batteri multi-resistenti ai farmaci e l'isolamento di pazienti portatori di infezioni;



promozione della ricerca e dello sviluppo di nuovi antibiotici con un nuovo meccanismo di azione.



33.000
decessi

Ogni anno, 33.000 persone muoiono per un'infezione dovuta a batteri resistenti agli antibiotici.

Questo numero può essere confrontato con il totale dei passeggeri di oltre 100 aeroplani di grandezza media.



75%
infezioni
ospedaliere

Il 75 per cento dell'impatto di batteri resistenti ad antibiotici in Europa è dovuto a infezioni ospedaliere.

Questo impatto potrebbe essere minimizzato tramite misure adeguate di prevenzione e controllo delle infezioni, come anche tramite stewardship in contesti ospedalieri.

Impatto crescente

Tra il 2007 e il 2015, l'impatto di ciascuno dei 16 batteri resistenti agli antibiotici studiati è aumentato, in particolare per *Klebsiella pneumoniae* ed *Escherichia coli*:

Klebsiella pneumoniae

Il numero di decessi attribuibili a infezioni con *K. pneumoniae* resistente ai carbapenemi, un gruppo di antibiotici di ultima linea, è aumentato di sei volte.

Escherichia coli

Il numero di decessi attribuibili a infezioni con *E. coli* resistente alle cefalosporine di terza generazione è aumentato di quattro volte.



Ognuno di noi è responsabile

Ognuno di noi è responsabile nell'affrontare questo pericolo per la salute umana: pazienti, dottori, infermieri, farmacisti, veterinari, allevatori, politici.

un individuo, nel corso di una visita in ospedale possono infettare il parente ricoverato dello stesso individuo che si presenta in visita. Per il paziente quell'infezione potrebbe dunque rappresentare una durissima battaglia da combattere, oltre alla causa originaria del ricovero.

Ricapitolando, diversi organismi possono sviluppare differenti tipi di resistenze a diversi antibiotici, provocare differenti tipi di malattie, a seconda delle condizioni dell'ospite. Quando si pianifica uno studio epidemiologico su questo fenomeno, bisogna considerare caratteristiche complesse, diversi contesti e differenti combinazioni possibili che causano problemi e anche la morte di persone infettate da batteri resistenti agli antibiotici.

Quando al Centro europeo per la prevenzione e il controllo delle malattie (European Centre for Disease Prevention and Control, ECDC) abbiamo deciso di misurare gli effetti della resistenza agli antibiotici su salute ed economia delle popolazioni UE/SEE, abbiamo stabilito i seguenti obiettivi: che cosa vogliamo misurare (decessi, casi, costi per il sistema sanitario?) e per quali combinazioni di batteri e antibiotico-resistenza? Dopo aver mappato le fonti di dati disponibili, era chiaro che la sorveglianza più completa e coerente a livello continentale era quella messa in atto dall'European Antimicrobial Resistance Surveillance Network (EARS-Net), una rete gestita da esperti in ognuno dei 30 paesi (sia della UE sia della SEE) che ne fanno parte e dallo stesso ECDC. Vorrem-

ma incidentalmente ricordare che la nostra è un'agenzia indipendente dell'Unione Europea, istituita nel 2005 con lo scopo di rafforzare le difese dei paesi membri dell'unione nei confronti delle malattie infettive.

I criteri di inclusione del nostro studio erano basati sulla disponibilità di dati (quindi combinazioni tra microrganismo e resistenza monitorate da EARS-Net) e sulla nostra conoscenza a priori delle infezioni che sapevamo essere quelle con il maggior impatto sulla salute. Oltre al numero di casi e di decessi abbiamo voluto misurare l'impatto della disabilità causata dalle infezioni resistenti agli antibiotici servendoci di un indicatore composito: i *Disability-Adjusted Life Years*, o DALYs. Questo indicatore è composto dal numero di anni non vissuti a causa di decessi prematuri, ovvero in anticipo rispetto alla speranza di vita all'età del decesso, e dal numero di anni vissuti con disabilità, che sono una funzione di quanto sia debilitante la malattia in questione. Grazie a questo indicatore è possibile paragonare l'impatto delle infezioni antibiotico-resistenti con quello di altre malattie infettive. Per calcolare i DALYs sono necessarie informazioni su età e sesso delle persone colpite dalle infezioni, ed EARS-Net raccoglie questi dati.

Un limite di EARS-Net, però, è che rileva solo il numero di persone affette da infezioni gravi da batteri nel sangue, le cosiddette «batteriemie», analizzate da laboratori scelti, che variano in numero e rappresentatività a seconda del paese e sono scelti dall'istituto di sanità pubblica di quel paese. Quando uno dei laboratori che fa parte di EARS-Net diagnostica un'infezione nel sangue provocata da uno specifico organismo, le caratteristiche biologiche di quest'ultimo sono comunicate alla rete europea di sorveglianza insieme a quelle anagrafiche del paziente. Tuttavia l'impatto delle infezioni resistenti agli antibiotici è un problema che riguarda anche persone che contraggono infezioni respiratorie, delle vie urinarie, del sito chirurgico o in altre parti del corpo, non solo per chi ha un'infezione del sangue. Abbiamo quindi incluso le informazioni fornite da uno studio sulle infezioni ospedaliere. Per ogni combinazione microrganismo-resistenza, lo studio ci ha fornito i fattori di conversione da batteriemie ad altre infezioni, cioè quante infezioni non-batteremiche si osservano per ogni batteriemia. Tramite questa combinazione di misure dirette delle infezioni del sangue e di misure di infezioni in altre parti del corpo dovute agli stessi batteri abbiamo dedotto il numero totale di infezioni con batteri antibiotico-resistenti.

Per stimare l'incidenza annuale delle infezioni con batteri antibiotico-resistenti mancava l'analisi delle criticità locali del sistema di sorveglianza e la popolazione coperta da EARS-Net in ognuno dei 30 paesi membri. Epidemiologi di ogni paese hanno contribuito al nostro lavoro fornendo, per esempio, il fattore di moltiplicazione nazionale: questo fattore permette di convertire la sorveglianza offerta da una selezione di laboratori in un quadro epidemiologico nazionale.

A questo punto eravamo fiduciosi dei nostri modelli di incidenza per i microrganismi più rilevanti sotto il profilo della resistenza agli antibiotici. Mancava solo l'aspetto dell'impatto sulla salute delle persone colpite: quanto uccidono queste infezioni? Di quanto aumenta il periodo di degenza delle persone ospedalizzate? Le infezioni con organismi resistenti aumentano il rischio di complicazioni a breve e lungo termine? Non esiste un sistema di sorveglianza diffuso e comprensivo che permetta di rispondere a que-

ste domande. Quindi, come a volte si fa in casi del genere, ci siamo rivolti alla letteratura scientifica. Abbiamo creato un sistema di criteri di valutazione per l'estrazione dei dati a cui abbiamo sottoposto oltre 360 articoli scientifici. Con le informazioni estratte abbiamo creato 80 modelli, uno per ogni combinazione microrganismo-resistenza e per ogni possibile sito di infezione.

Risultati inquietanti

Una celebre affermazione dello statistico britannico George P. E. Box recitava che «tutti i modelli sono sbagliati, ma alcuni sono utili». In pratica significa che è inutile elaborare eccessivamente i modelli nel tentativo utopistico di riprodurre la realtà: dobbiamo ambire a essere semplici ed evocativi. Quando si creano modelli per descrivere fenomeni epidemiologici, è naturale avere un certo numero di incertezze da considerare. In media ogni nostro modello comprendeva più di 30 variabili e, considerando 80 modelli per paese e 30 paesi, dovevamo considerare le incertezze per oltre 72.000 variabili. Per questo motivo i modelli sono stati inseriti in un computer che li ha sottoposti a iterazioni di simulazioni, ottenendo così il 95 per cento dei possibili risultati.

In particolare, a partire dai dati di EARS-Net del 2015 abbiamo

Dal 2007 al 2015 in Italia il numero stimato di decessi associati alle infezioni resistenti agli antibiotici è aumentato di 3,6 volte

stimato 671.689 casi di infezione con batteri resistenti agli antibiotici nei paesi UE/SEE (da un minimo di 583.148 a un massimo di 736.966), di cui 201.584 in Italia (da un minimo di 167.809 a un massimo di 237.207). Le infezioni sono state associate a 33.110 decessi (da 28.480 a 38.430), di cui sorprendentemente quasi un terzo, ovvero 10.762, in Italia (da un minimo di 8951 a un massimo di 12.817). Quando abbiamo considerato i DALYs, la media per i paesi UE/SEE si è attestata intorno ai 170 DALYs per 100.000 abitanti, più o meno lo stesso valore ottenuto per l'impatto annuale cumulativo di influenza, tubercolosi e HIV/AIDS (*si veda il box a p. 39*). In Italia l'impatto sulla salute delle infezioni con batteri resistenti agli antibiotici è di 448 DALYs per 100.000 abitanti, il più alto in Europa insieme a quello stimato per la Grecia. Le stime indicano anche che in Italia il 43 per cento dei decessi (il 33 per cento in paesi UE/SEE) è associato a infezioni con batteri resistenti ai cosiddetti antibiotici di ultima linea come i carbapenemi e la colistina: se questi antibiotici non funzionano più, per le terapie rimangono solo tentativi poco efficaci con combinazioni di altri antibiotici, spesso tossiche per il corpo.

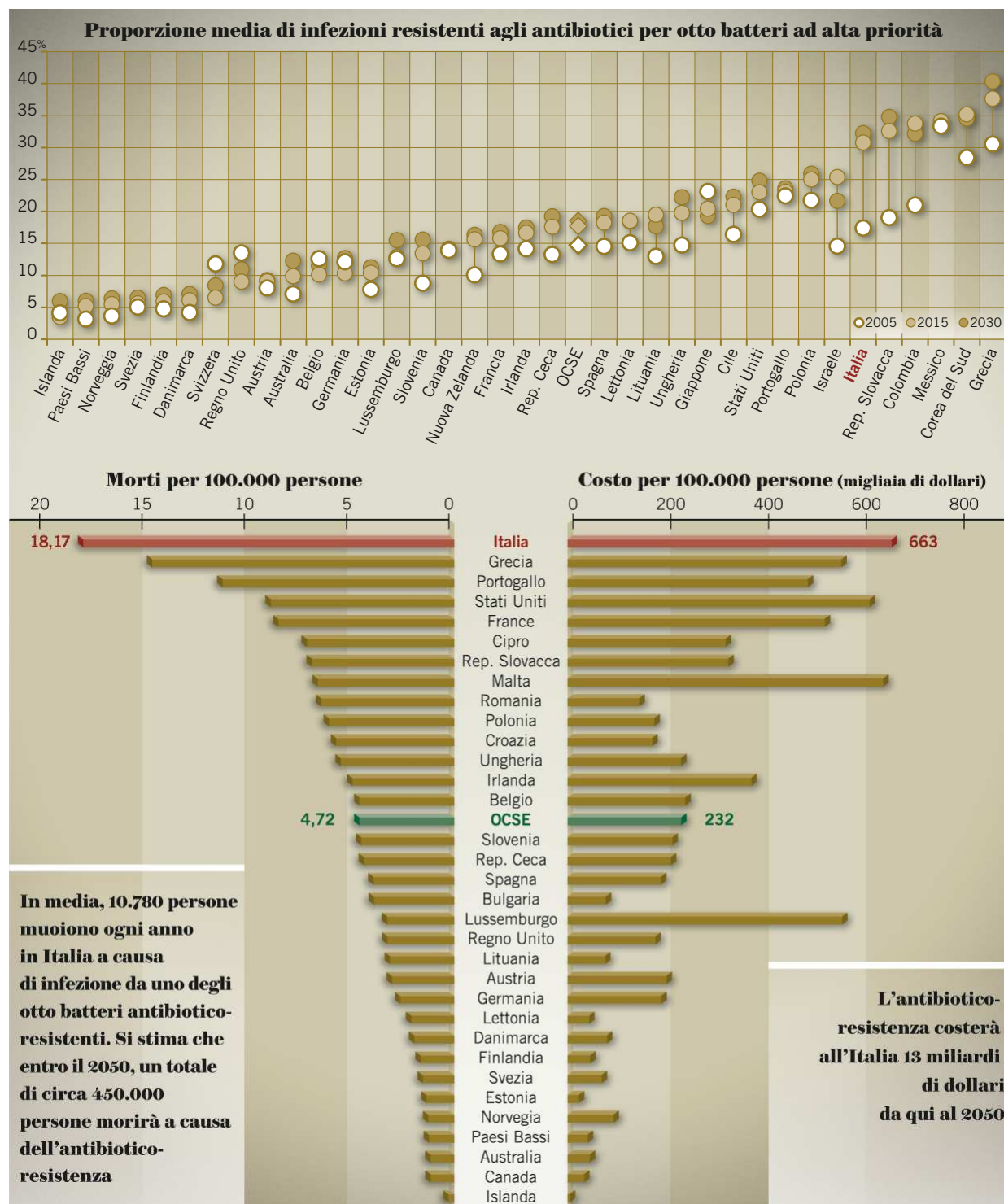
Inoltre i risultati del nostro studio mostrano che il 75 per cento dell'impatto delle infezioni con batteri resistenti agli antibiotici nei paesi UE/SEE avviene negli ospedali; in Italia questo dato arriva all'80 per cento. Negli ospedali, quindi, gli interventi mirati alla prevenzione delle infezioni correlate all'assistenza e alla cosiddetta *stewardship* antibiotica (cioè migliorare l'appropriatezza della prescrizione di questi farmaci tramite interventi di leadership, responsabilizzazione, formazione e approccio multidisciplinare) sono opportunità importanti per contrastare il fenomeno dell'antibiotico-resistenza.

È interessante notare anche che dal 2007 al 2015 il numero stimato di decessi associati alle infezioni resistenti è aumentato

Tristi primati italiani

Le infezioni da batteri resistenti agli antibiotici hanno un costo sia in vite umane sia in spesa sanitaria. Nell'ambito dei paesi che fanno parte dell'Organizzazione per la cooperazione e lo sviluppo economico (OCSE, o anche OECD, dalle iniziali del nome in inglese dell'organizzazione), l'Italia

può vantare primati non proprio lusinghieri in termini di decessi e costi per 100.000 persone (*grafici in basso, i dati al 2030 sono stime*). Se il problema dell'antibiotico-resistenza non verrà affrontato con decisione, la situazione non potrà fare altro che peggiorare.



Le basi dei batteri resistenti

L'antibiotico-resistenza può emergere in contesti diversi, alcuni dei quali potrebbero essere inaspettati per la maggior parte delle persone. Una migliore comprensione del fenomeno è utile anche per adottare comportamenti che non favoriscano l'insorgere di batteri resistenti agli antibiotici.



drammaticamente di 3,6 volte in Italia (2,5 in media nei paesi UE/SEE), soprattutto a causa dell'aumento di quelle resistenti ai carbapenemi, che di solito sono infezioni correlate all'assistenza. Un esempio sono le infezioni da *Klebsiella pneumoniae* resistenti ai carbapenemi e/o alla colistina, che sono aumentate 88 volte in Italia dal 2007 (sei volte nei paesi UE/SEE).

È importante sottolineare che nel nostro paese e nel resto dei paesi UE/SEE il numero di infezioni da *E.coli* resistente alle cefalosporine di terza generazione, in genere associate all'uso comunitario (non ospedaliero) degli antibiotici, è aumentato di oltre quattro volte dal 2007 al 2015. Quindi la stewardship antibiotica dovrebbe essere estesa alla medicina di comunità e a quella generale.

In aggiunta a un considerevole impatto negativo sulla salute umana, l'antibiotico-resistenza pone una minaccia significativa alla sostenibilità dei sistemi sanitari nazionali. A causa della maggiore aggressività della malattia e del rischio più elevato di complicazioni, i pazienti che sviluppano infezioni con batteri antibiotico-resistenti necessitano di cure più intensive ed esami e procedure mediche aggiuntive che prolungano la degenza ospedaliera e, di conseguenza, aumentano i costi sanitari.

L'Organizzazione per la cooperazione e lo sviluppo economico (OCSE), un'organizzazione intergovernativa che conduce studi economici in paesi prevalentemente ad alto reddito, ha calcolato che ogni paziente ospedalizzato che sviluppa un'infezione

da batteri resistenti agli antibiotici costa ai sistemi sanitari nazionali dei suoi paesi membri, Italia inclusa, fra 9000 e 35.000 euro aggiuntivi rispetto a un paziente con la stessa malattia che tuttavia non ha sviluppato un'infezione antibiotico-resistente. Il 55 per cento circa di queste spese aggiuntive copre il costo delle cure aggiuntive di medici e infermieri, un altro 15 per cento circa è necessario per gli esami diagnostici aggiuntivi e per la terapia farmacologica.

L'OCSE ha anche calcolato che nei paesi dell'Unione Europea, del Nord America e in Australia l'antibiotico-resistenza è responsabile ogni anno di circa 700 milioni di giorni di ospedalizzazione, corrispondenti a una spesa di oltre 3 miliardi di euro. In pratica in questi paesi la resistenza agli antibiotici è responsabile di circa il 10 per cento di tutta la spesa sanitaria per le malattie infettive: in altre parole, è una delle maggiori voci di spesa per questo tipo di malattie.

In Italia i dati sono ancora più allarmanti, considerata l'incidenza elevata delle infezioni antibiotico-resistenti. La spesa per trattare le conseguenze di questo fenomeno si attesta su quasi 5 euro per abitante per anno, più del doppio rispetto alla media dai paesi UE, i cui sistemi sanitari devono pagare mediamente 1,8 euro

In alcuni paesi sta già emergendo una resistenza all'ultima linea di terapia, oltre la quale non c'è più alcun antibiotico efficace per combattere infezioni

per abitante. Se l'attuale scenario dovesse essere confermato per il prossimo futuro, l'antibiotico-resistenza costerà all'Italia quasi 13 miliardi di euro da qui al 2050.

Secondo l'OCSE, se non saranno subito adottate azioni efficaci per contrastare questa minaccia, l'incidenza di nuove infezioni con batteri antibiotico-resistenti continuerà ad aumentare, soprattutto per le infezioni più difficili da trattare. In Italia la proporzione di infezioni con batteri resistenti è quasi raddoppiata nell'arco degli ultimi dieci anni, passando da un valore di circa 17 per cento nel 2005 – ogni 100 infezioni, 17 erano resistenti agli antibiotici – al 30 per cento nel 2015. Le analisi dell'OCSE concludono che nel nostro paese le infezioni con batteri antibiotico-resistenti continueranno a crescere fino al 2030, quando rappresenteranno il 32 per cento di tutte le infezioni (*si veda il box a p. 41*).

Sebbene il tasso di aumento della resistenza media sembri ridursi, rimangono seri motivi di preoccupazione. Se da un lato si stima che in Europa la resistenza agli antibiotici di prima linea (quelli di primo uso per il trattamento di infezioni) rimarrà sostanzialmente stabile nel 2030 rispetto ai livelli del 2005, dall'altro si prevede anche che nello stesso periodo la resistenza agli antibiotici di seconda linea (da usare quando quelli di prima linea risultano inefficaci, come ha dovuto fare Paolo per trattare la sua infezione alle vie urinarie) sia destinata ad aumentare del 75 per cento; per gli antibiotici di terza linea (quelli di ultima istanza) si prevede un raddoppio rispetto ai livelli del 2005.

La resistenza ad alcune terapie con farmaci di seconda linea, come cefalosporine di terza generazione e fluorochinoloni, è particolarmente problematica, perché è prevista in aumento nella maggioranza dei paesi europei. Questo fenomeno farà crescere il ricorso ai carbapenemi, promuovendo potenzialmente la resi-

stenza a questa categoria di antibiotici di scorta. In alcuni paesi sta già emergendo una resistenza all'ultima linea di terapia – le polimixine – con conseguenze che potrebbero essere catastrofiche, perché ci troveremmo senza più nessun antibiotico efficace.

Agire contro la resistenza

I dati illustrati dimostrano chiaramente che è necessaria una strategia efficace per contrastare lo tsunami di superbatteri che sta lentamente ma inesorabilmente arrivando. L'OCSE ritiene necessario agire su due punti critici. Innanzitutto si deve tornare a investire sullo sviluppo di nuovi antibiotici in grado di sostituire le opzioni terapeutiche che hanno perso efficacia. A questo scopo, la messa in campo di appropriati incentivi – economici, snellimenti procedurali e azioni legislative – può far ripartire un circolo virtuoso che permetta di rivitalizzare gli investimenti e la produzione di nuovi antibiotici. Questa linea d'azione è fondamentale, ma bisogna riconoscere che la ricerca e lo sviluppo di nuovi farmaci richiede svariati anni, in alcuni casi anche più di una decina per molecole nelle prime fasi di sviluppo, prima che un nuovo prodotto possa raggiungere il mercato.

Allo stesso tempo, quindi, occorre investire in una strategia di salute pubblica mirata a contrastare la diffusione e l'ulteriore sviluppo dell'antibiotico-resistenza. In Italia un «pacchetto» di provvedimenti dal costo inferiore a 4 euro all'anno per persona potrebbe evitare quasi 9000 decessi e far risparmiare al sistema sanitario circa 464 milioni di euro ogni anno.

Questo pacchetto dovrebbe essere centrato su tre assi. Primo, miglioramento delle condizioni igieniche nelle strutture sanitarie, come ospedali e case di cura, per minimizzare la trasmissione delle infezioni tra pazienti. Secondo, abbandono della prassi di prescrizione eccessiva e inutile degli antibiotici nell'ambito ospedaliero e sul territorio. L'uso più frequente di test diagnostici rapidi da parte dei medici di famiglia per determinare la natura virale (che non richiede uso di antibiotici) o batterica di un'infezione e programmi di stewardship antibiotica negli ospedali hanno dimostrato di aumentare in maniera significativa l'appropriatezza prescrittiva con conseguente riduzione dell'antibiotico-resistenza. Terzo, lancio di campagne informative per comunicare alla popolazione rischi e danni legati all'uso improprio di una risorsa terapeutica preziosa, come appunto gli antibiotici.

Le analisi dell'OCSE concludono che un investimento simile si ripagherebbe in meno di un anno grazie alla conseguente diminuzione della spesa sanitaria, inoltre porterebbe a risparmi netti sulla spesa sanitaria negli anni successivi e, ancora più importante, salverebbe migliaia di vite umane. ■

PER APPROFONDIRE

Attributable Deaths and Disability-Adjusted Life-Years Caused by Infections with Antibiotic-Resistant Bacteria in the EU and the European Economic Area in 2015: a Population-Level Modelling Analysis. Cassini A. Cecchini M. e altri, in «The Lancet Infectious Diseases», Vol. 19, n. 1, pp. 56-66, 1° gennaio 2019.

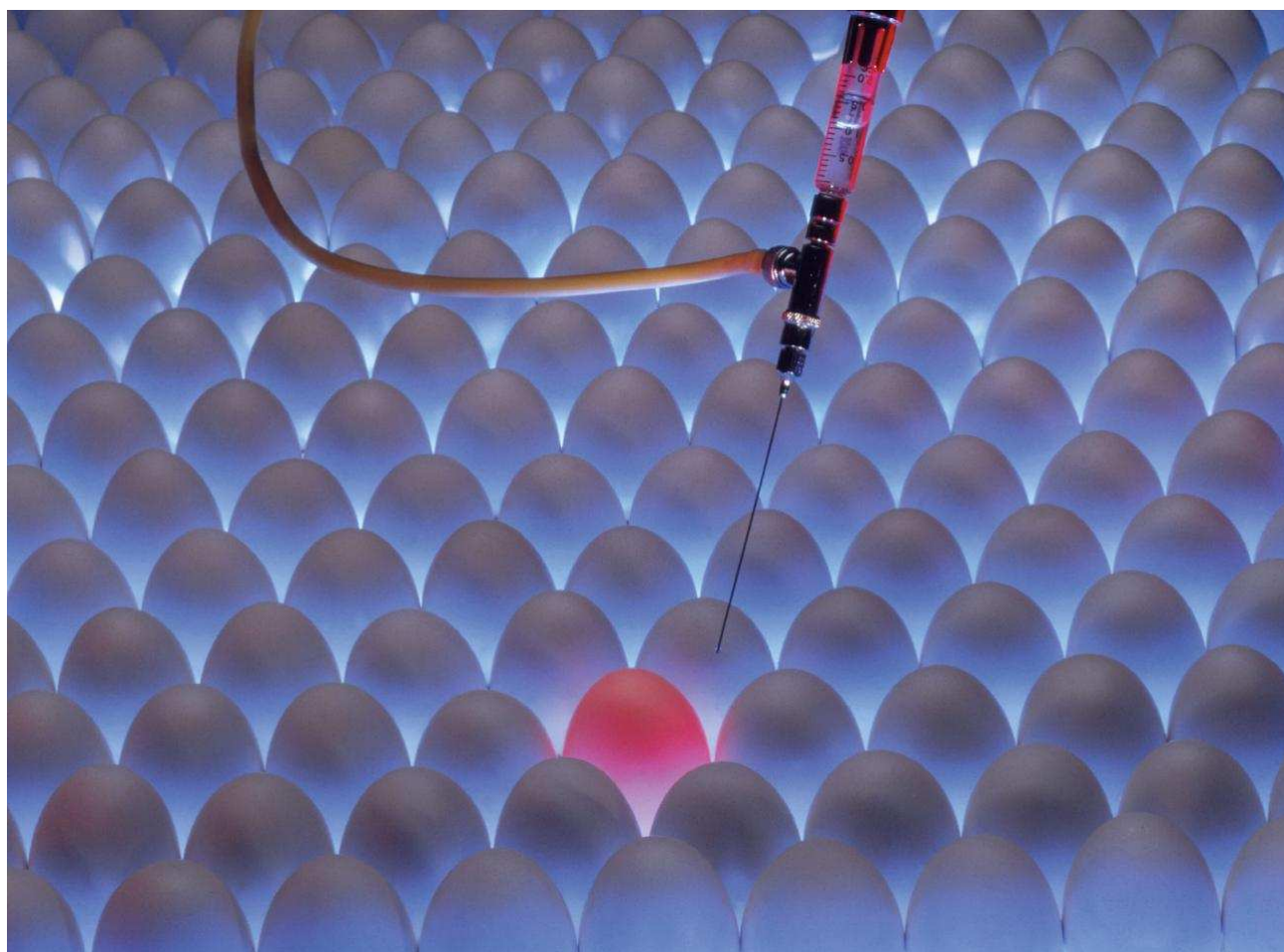
European Centre for Disease Prevention and Control e resistenza agli antibiotici: <https://www.ecdc.europa.eu/en/antimicrobial-resistance>.

Organizzazione mondiale della Sanità e resistenza antimicrobica: <https://www.who.int/antimicrobial-resistance/en>.

Vaccini in aiuto agli antibiotici

Già oggi, e sempre più in futuro, le vaccinazioni possono contribuire alla strategia integrata necessaria per fronteggiare la crisi di efficacia degli antibiotici

di Roberta Villa



Preparazione antivirale. Un passaggio della preparazione di vaccini contro i virus dell'influenza, che richiede l'inoculazione virale di uova fecondate. In futuro, sempre di più, il ricorso alle vaccinazioni potrà riguardare non solo virus ma anche batteri pericolosi per la salute pubblica.

SPL/AGF

Roberta Villa, autrice di *Vaccini. Il diritto di (non) avere paura* (Pensiero scientifico, 2019), è membro del National Immunization Technical Advisory Group, collabora con il sito web «Dottore, ma è vero che...» della FNOMCeO e per l'Università Ca' Foscari a Venezia è impegnata nel progetto europeo QUEST sulla comunicazione della scienza.



Gia quasi vent'anni fa l'Organizzazione mondiale della Sanità li citava tra gli strumenti fondamentali da mettere in campo per difenderci dai superbatteri. Eppure, almeno fino a oggi, i vaccini sono stati un po' sottovalutati nell'ambito della strategia integrata, fatta di interventi di prevenzione e trattamenti innovativi, indispensabile per evitare di riportare la medicina ai tempi cupi precedenti alla scoperta degli antibiotici.

«I vaccini possono agire prima di tutto in maniera indiretta, aiutando a controllare il consumo di farmaci», risponde Emanuele Montomoli, professore di igiene e medicina preventiva all'Università di Siena. «Pensiamo al vaccino antinfluenzale. È rivolto contro un virus, per cui a prima vista non ha nulla a che vedere con i batteri resistenti agli antibiotici. Eppure è importante perché proprio durante la stagione influenzale si verifica un forte uso e abuso di questi medicinali, fenomeno che favorisce moltissimo le resistenze».

Il rapporto *L'uso degli antibiotici in Italia - Rapporto nazionale anno 2018*, pubblicato dall'Agenzia italiana del farmaco a novembre 2019, conferma che il consumo di antibiotici in inverno è in media più del doppio di quello dell'estate, con punte che vanno di pari passo con i picchi delle sindromi influenzali osservati nei diversi anni e una differenza tra stagione calda e fredda assai meno marcata in caso di epidemie più limitate, come nel 2013-2014 e nel 2015-2016. In caso di influenza, questi medicinali si rendono talvolta necessari per trattare le complicazioni batteriche che si sovrappongono all'infezione virale, ma più spesso li si prende in maniera impropria, come «copertura» per evitarle, anche in persone senza particolari fattori di rischio. «Dal momento che la malattia poi passa da sola, molti smettono di prenderli non appena stanno meglio, senza terminare il trattamento, aumentando ulteriormente il rischio di selezionare nel proprio organismo germi resistenti», aggiunge Montomoli.

Diversi studi hanno dimostrato che una maggiore diffusione della vaccinazione antinfluenzale permette un minor consumo

di antibiotici: uno condotto in Francia ha osservato un calo del 40 per cento circa, uno canadese addirittura del 64 per cento. Altre stime sono più prudenti, ma probabilmente l'impatto del vaccino dipende anche da quanti antibiotici si usano in maniera impropria in caso di influenza, abitudine che in Italia è purtroppo più diffusa che in molti altri paesi, soprattutto del Nord Europa.

Un'altra vaccinazione che indirettamente potrebbe contribuire a ridurre l'abuso di antibiotici è quella per il morbillo. Soprattutto negli adulti, prima che compaiano le macchie sulla pelle, per la febbre alta e il forte malessere del paziente, è facile che il medico prescriva un antibiotico, pensando a un'infezione batterica. Quando poi compare il caratteristico esantema si rischia di ritardare ancora la diagnosi pensando a una reazione allergica al farmaco. Se, grazie alla vaccinazione, si riuscisse a eliminare la malattia, anche questi antibiotici sarebbero evitati, come quelli che, altrettanto impropriamente, sono talvolta dati ai bambini con diarrea da rotavirus, soprattutto nei paesi a basso reddito dove è più difficile eseguire gli esami necessari per distinguere le forme virali.

Se riescono a ridurre il consumo di antibiotici i vaccini rivolti contro i virus, tanto più possono farlo quelli che proteggono dalle malattie batteriche, in cui questi farmaci sono indicati: meno casi di malattia ci saranno, minore sarà il numero di dosi prescritte e il rischio che i farmaci siano presi a dosi differenti e per una durata diversa da quelle raccomandate.

Il vaccino già in commercio che può avere l'impatto maggiore sull'insorgenza delle resistenze, dopo quello antinfluenzale, è quindi il vaccino contro lo pneumococco, germe responsabile

IN BREVE

Per combattere i batteri resistenti agli antibiotici sarebbe importante ricorrere ancora di più ai vaccini. Già oggi sono disponibili vaccinazioni che contrastano l'azione di specifiche malattie di

origine batterica in modo diretto.

Ma anche i vaccini antivirali possono contribuire alla causa in modo indiretto, riducendo l'abuso di antibiotici che causa l'antibiotico-resistenza.

Il passo successivo è la produzione di vaccini diretti in modo specifico contro batteri resistenti alle cure. Alcuni sono già in fase di sviluppo, e puntano a sfidare i superbatteri.

non solo di polmoniti, come il nome fa intendere, ma anche di meningiti, sepsi o di più comuni infezioni tipiche dell'infanzia, come le otiti medie acute, per le quali si fa largo uso di antibiotici. Evitarle, significa, ancora una volta, ridurre uso e abuso di questi farmaci: «Uno studio pubblicato su "The Lancet" ha stimato che una copertura universale con il vaccino antipneumococcico potrebbe evitare 11,4 milioni di giorni di trattamento antibiotico all'anno nei bambini al di sotto dei cinque anni di età», ha dichiarato Thomas Cueni, direttore generale dell'International Federation of Pharmaceutical Manufacturers and Associations, a capo anche dell'AMR Industry Alliance, un'associazione di multinazionali del farmaco e aziende biotecnologiche impegnate a vari livelli sul fronte della resistenza agli antibiotici.

Utilità in seconda battuta

«Anche se i vaccini attualmente in commercio sono stati sviluppati senza pensare alle resistenze batteriche, ma solo per contrastare le specifiche malattie da cui proteggono, alcuni di loro si sono rivelati poi utili anche in questo campo», spiega Stefano Valente, direttore del settore *medical affairs vaccines* della casa farmaceutica MSD Italia.

È il caso appunto del vaccino contro lo pneumococco, ma prima ancora, in ordine di arrivo sul mercato, di quello che protegge i bambini piccoli da *Haemophilus influenzae* di tipo B, oggi contenuto nel vaccino esavalente somministrato a partire dal terzo mese di età. La sua introduzione ha drasticamente ridotto il numero di meningiti batteriche nei minori di cinque anni di età, di cui prima l'emofilo di tipo B era in Italia la causa più frequente, e ha ridotto la frequenza di ceppi resistenti agli antibiotici riscontrati in pazienti di ogni età. Fenomeni simili, con un calo delle infezioni antibiotico-resistenti anche in fasce di età non sottoposte a vaccinazione, ma protette dall'immunità di gruppo, sono stati dimostrati in molti contesti anche per la vaccinazione antipneumococcica.

In altri casi la pressione evolutiva esercitata dalla popolazione vaccinata ha favorito la sostituzione dei ceppi batterici contenuti nel vaccino con altri, alcuni dei quali resistenti agli antibiotici. «Attenzione, però, a non fraintendere questo dato», mette in guardia Chiara Azzari, professoressa di pediatria, immunologa e coordinatrice scientifica dell'Azienda ospedaliero universitaria Meyer di Firenze. «Anche quando la percentuale di germi resistenti aumenta, il loro valore assoluto cala grazie alla riduzione del numero di infezioni dovuta alla vaccinazione, per cui il bilancio alla fine risulta positivo».

C'è anche un altro meccanismo con cui i vaccini possono contrastare le resistenze agli antibiotici: «Quando la vaccinazione riduce la circolazione di un patogeno, è più difficile che il ceppo portatore di una mutazione che lo rende resistente possa prendere piede o passarla ad altri batteri, come spesso fa proprio lo pneumococco», aggiunge Azzari.

«Nell'uso dei vaccini contro le resistenze antimicrobiche c'è un oggi, un domani e un dopodomani», interviene Giovanni Checucci Lisi, *medical head business unit* di Sanofi Pasteur per l'Italia. «Se il presente è rappresentato dai vaccini appena citati, che già svolgono un ruolo importante, un domani non troppo lontano è rappresentato dai prodotti che dovrebbero entrare sul mercato tra pochi anni, per esempio il vaccino contro il virus respiratorio

sinciziale responsabile di bronchioliti, polmoniti e altre infezioni delle vie respiratorie, pericolosissime soprattutto per i bambini».

Ci stanno lavorando in tanti, in funzione del pesantissimo carico che questa infezione porta con sé. «L'impatto sulla resistenza agli antibiotici si riferisce, come per le altre vaccinazioni antivirali, all'abuso di antibiotici che il virus respiratorio sinciziale porta con sé, non tanto in ospedale, dove è possibile verificare o escludere in poco tempo con un test la sua presenza, ma sul territorio, dove la gravità delle forme che provoca spinge comunque il pediatra a somministrare l'antibiotico, non potendo escludere una forma batterica», precisa Azzari.

Obiettivi diretti

In arrivo dovrebbero esserci anche nuovi vaccini rivolti direttamente a batteri resistenti alle cure: ce ne sono un paio in cantiere per *Clostridium difficile*, responsabile di una colite necrotizzante che, come dice il nome, è molto difficile da trattare con i comuni antibiotici, ma soprattutto si stanno concretizzando gli sforzi per arrivare a un vaccino contro la tubercolosi che sia più efficace di quello tradizionale, soprattutto nei giovani e negli adulti.

«L'impatto della tubercolosi, prima causa di morte per malattia infettiva al mondo, è aggravato dal dilagare di ceppi resistenti a molti farmaci e altri che non rispondono quasi a nulla, se non a costo di una forte tossicità», spiega Ann Ginsberg, membro del National Vaccine Advisory Committee del governo degli Stati Uniti e responsabile della strategia contro la tubercolosi nell'ambito di IAVI, ente di ricerca *no profit*.

«La cura richiede di prendere diversi farmaci, ogni giorno, per molti mesi, per cui è facile che non sia seguita in maniera regolare. A livello globale, solo un paziente su cinque viene trattato in maniera adeguata: questo facilita l'emergenza di ceppi resistenti. Soprattutto nell'Europa orientale e nei paesi dell'ex Unione Sovietica la situazione è drammatica, con un nuovo caso su tre che non risponde alle cure». Un vaccino efficace sembra quindi indispensabile per raggiungere l'obiettivo di contenere la situazione: quello messo a punto da IAVI con GSK deve ancora passare un'ultima

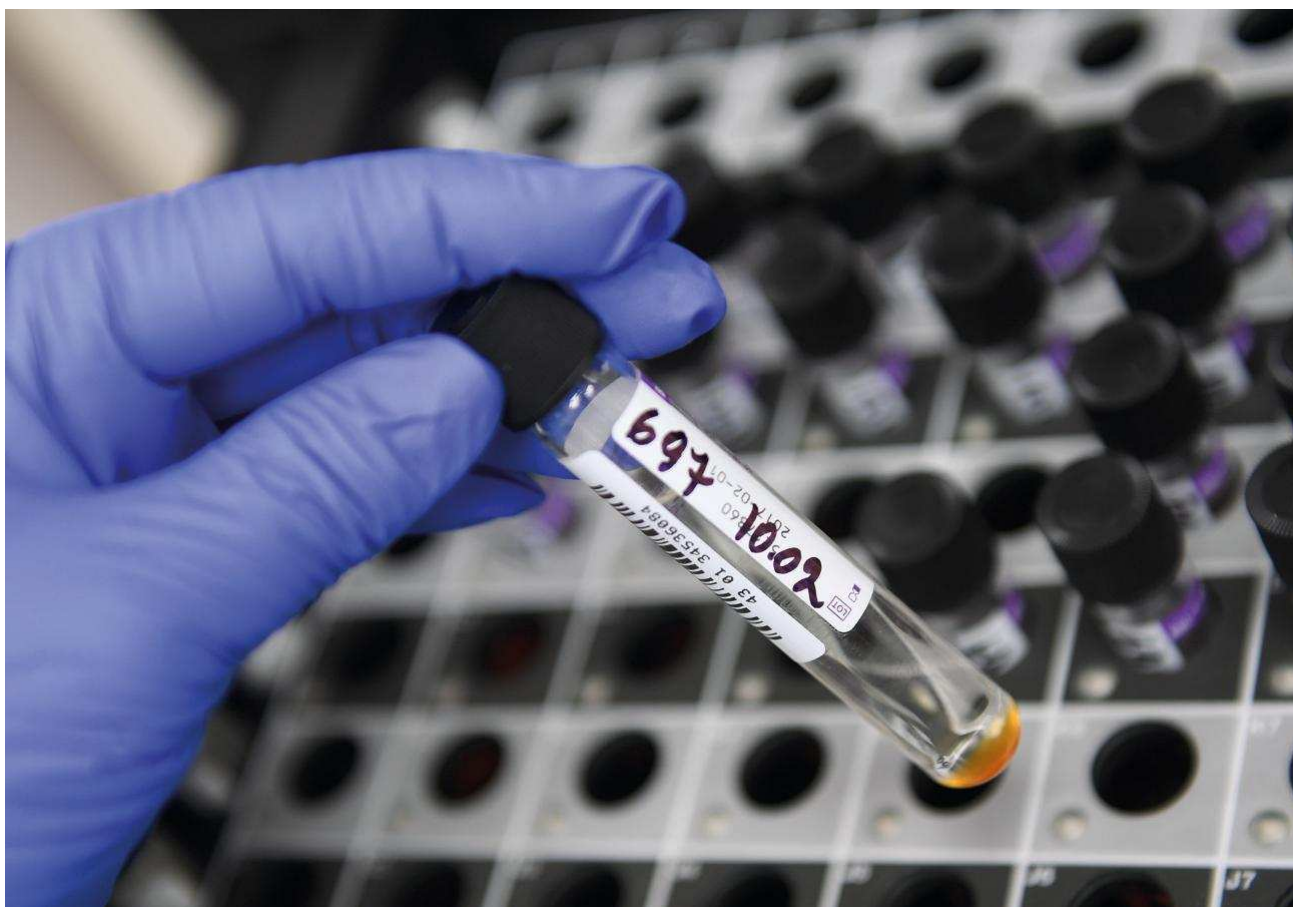
fase di sperimentazione, ma nello studio condotto in Africa e pubblicato recentemente sul «New England Journal of Medicine» ha mostrato risultati incoraggianti.

Altri vaccini diretti in maniera specifica contro germi resistenti sono in fase più o meno avanzata di studio: uno è per *Staphylococcus aureus*, che è un grosso problema quando acquisisce la capacità di resistere anche all'antibiotico chiamato meticillina (ed è indicato con la sigla MRSA), un altro è rivolto contro lo streptococco di tipo B, causa tra l'altro di faringotonsilliti che richiedono un notevole uso di antibiotici. E ancora, la ricerca sta lavorando su altri vaccini contro germi di origine intestinale, come *Escherichia coli*, importante causa di infezioni delle vie urinarie, e contro vari tipi di salmonella e shigella, rilevanti soprattutto nei paesi più poveri.

Molto più indietro, nelle fasi di sviluppo, ci sono i vaccini più attesi contro le infezioni da germi tipicamente contratte in ospedale, che lì hanno imparato a resistere a tutti gli antibiotici o quasi, e che minacciano di più l'Italia e gli altri paesi a più alto reddito: per esempio alcune di quelle da *Klebsiella pneumoniae* o *Pseudomonas aeruginosa*.

«Quando avremo a disposizione questi vaccini si porrà però anche il problema di decidere come usarli», commenta Gianni

Un nuovo vaccino per la tubercolosi è indispensabile per contenere la diffusione di questa malattia pericolosa



Anti TB. Provetta del Novosibirsk Tuberculosis Research Institute, in Russia, che si occupa di ricerca sulla tubercolosi e di trattamento della TB.

Rezza, direttore del Dipartimento di malattie infettive, parassitarie e immunomediate dell'Istituto superiore di Sanità. «Bisognerà capire chi sono le popolazioni a rischio da proteggere: tutti i ricoverati in ospedali e centri residenziali, gli immunodepressi, gli anziani e le persone più fragili?». Bisognerà verificare quanto dura l'immunizzazione conferita dal vaccino ed effettuare studi di farmacoeconomia, per capire come sfruttarli al meglio, perché in questo campo non si tratta solo del singolo prodotto e del singolo paziente, ma di una strategia che produca un beneficio collettivo in termini di salute pubblica.

Per ora, quel che si sa è che sfruttare anche i vaccini nella lotta globale alle resistenze presenta sicuramente molti vantaggi: «Trovare nuovi antibiotici è importante, ma non basta», spiega Rino Rappuoli, direttore scientifico e responsabile della attività di ricerca e sviluppo esterna di GlaxoSmithKline Vaccines. «I tempi di ricerca e sviluppo di questi farmaci sono lunghissimi rispetto alla rapidità con cui si selezionano le resistenze. Si tratta sempre di soluzioni temporanee, a cui segue la selezione di nuovi ceppi capaci di aggirarle». Di fatto, è una rincorsa senza fine, in cui il rimedio si brucia prima di risolvere il problema.

«I vaccini invece possono essere usati per decenni senza perdere di efficacia», aggiunge Rezza. «Rispetto agli antibiotici, i vaccini generano meno resistenze perché non agiscono quando l'infezione è in corso, e quindi la popolazione batterica è in espansione, ma in una fase preventiva, su una popolazione batterica ancora limitata, in cui il rischio che si manifestino e proliferino ceppi resistenti è

estremamente basso», spiega Rappuoli. «Inoltre i vaccini stimolano una risposta immunitaria che attacca i germi su diversi fronti, per cui è più difficile che si crei la capacità di sovrastarla. Qualora poi una campagna vaccinale favorisse la prevalenza di ceppi non inclusi nei vaccini, questi ultimi possono essere migliorati e allargati a coprire anche le varianti escluse dai preparati precedenti».

Gli antibiotici, inoltre, mentre combattono i germi responsabili delle malattie, danneggiano anche la flora batterica fisiologica che apporta molti benefici all'organismo, e selezionano al suo interno germi resistenti. I vaccini, invece, la lasciano intatta.

E poi c'è la ricerca. L'età d'oro degli antibiotici ha raggiunto i suoi vertici a metà del secolo scorso. Negli ultimi decenni la capacità di innovazione in questo settore è andata calando, senza più riuscire a proporre molecole capaci di dare una svolta. La vaccinologia, invece, è in fase di grandissima espansione: nuove tecniche, nuovi approcci, nuovi obiettivi. Quella di contribuire a fermare i superbatteri sembra una sfida a cui non vuole rinunciare. ■

PER APPROFONDIRE

Antimicrobial Resistance and the Role of Vaccines. Bloom D.E., Black S., Salisbury D. e Rappuoli R., in «Proceedings of the National Academy of Sciences», Vol. 115, n. 51, pp. 12.868-12.871, 2018.

The role of vaccines in fighting antimicrobial resistance (AMR). Jansen K.U. e Anderson A.S., in «Human Vaccines & Immunotherapeutics», Vol. 14, n. 9, 2018.

Quale futuro per la terapia fagica?

Un trattamento ideato oltre un secolo fa torna a essere considerato nella lotta alle infezioni mortali causate da batteri resistenti ai farmaci

di Charles Schmidt

Bobby Burgholzer soffre di fibrosi cistica, una malattia genetica che fin dalla nascita lo ha reso vulnerabile a infezioni batteriche ai polmoni. Fino a qualche anno fa gli antibiotici erano riusciti a tenere sotto controllo i sintomi, ma quando anche questi medicinali hanno smesso di fare effetto il quarantenne venditore di dispositivi medici si è ritrovato senza fiato e scoraggiato.

Fino ad allora Bobby aveva sempre cercato di mantenersi in forma giocando a hockey, ma ogni giorno faceva sempre più fatica a percorrere le scale o le strade in salita.

Con il peggiorare della situazione, Bobby cominciò a temere che la sua malattia fosse incurabile, preoccupandosi soprattutto di sua moglie e della loro giovane figlia. Così l'uomo iniziò a interessarsi alle cure alternative, una delle quali attirò la sua attenzione: un virus chiamato fago (o batteriofago).

I fagi sono presenti ovunque in natura. Si riproducono invadendo i batteri e sequestrandone i meccanismi riproduttivi. Una volta raggiunto l'interno di una cellula si moltiplicano a centinaia ed esplodono, generalmente provocando la mor-

te della cellula stessa. I fagi si riproducono solo nei batteri. I microbiologi li scoprirono nel 1910, mentre i medici li usarono per la prima volta a scopo terapeutico dopo la prima guerra mondiale per curare i malati di tifo, dissenteria, colera e altre malattie di origine batterica. Successivamente, durante la guerra d'inverno del 1939-1940 tra Unione Sovietica e Finlandia, il ricorso ai virus riuscì a ridurre di un terzo la mortalità da gangrena tra i soldati feriti.

Le terapie fagiche sono tuttora disponibili in commercio nei paesi dell'ex blocco sovietico, mentre in Occidente questo approccio terapeutico è stato accantonato decine di anni fa. Nel 1934 due medici della Yale University, Monroe Eaton e Stanhope Bayne-Jones, pubblicarono un'im-



portante revisione sistematica che, senza mezzi termini, definiva contraddittorie e inconcludenti le prove cliniche dell'efficacia dei fagi contro le infezioni batteriche. Inoltre gli autori accusavano le aziende produttrici di fagi a scopo terapeutico di ingannare il pubblico. Ma la fine definitiva delle terapie fagiche fu sancita negli anni quaranta dalla diffusione degli antibiotici, data la loro elevata efficacia e convenienza.

Al momento la terapia fagica non è autorizzata in alcun paese occidentale. I fondi per la ricerca sono scarsissimi. E nonostante gli studi su pazienti umani nell'Europa dell'est abbiano dato risultati incoraggianti (soprattutto quelli dell'Istituto Eliava di Tbilisi, in Georgia, epicentro della ricerca nel settore), molti studiosi occidentali affermano che quei lavori non rispettano gli standard rigorosi presenti nei loro paesi. Inoltre, alcuni trial clinici effettuati in Europa occidentale e negli Stati Uniti hanno ottenuto risultati a dir poco fallimentari.

Eppure, nonostante lo storico scetticismo che la circonda, c'è un rinnovato interesse per la terapia fagica. Il numero dei partecipanti ai congressi scientifici sul tema aumenta vertiginosamente. Anche la Food and Drug Administration (FDA) degli Stati Uniti e altre agenzie sanitarie si stanno interessando nuovamente al tema. Una quindicina di aziende occidentali stanno investendo nel settore e durante il 2019 negli Stati Uniti è stata avviata una nuova ondata di studi clinici. A che cosa è dovuto tutto questo? Le terapie fagiche sono in grado di curare le infezioni da batteri multiresistenti (o *multi-drug resistant*, MDR) che non rispondono più agli antibiotici. La FDA ha autorizzato i medici che ne fanno richiesta a somministrare queste cure sperimentali «per uso compassionevole» qualora dimostrino che i pazienti non abbiano altre opzioni, proprio quello che Burgholzer sperava di dimostrare.

Le infezioni MDR si stanno rapidamente trasformando in un vero e proprio incubo per la sanità pubblica. Almeno 700.000 persone muoiono ogni anno a causa di queste malattie incurabili, un dato che secondo le Nazioni Unite potrebbe arrivare a 10 milioni entro il 2050. Nel frattempo, l'industria farmaceutica fatica a proporre nuovi antibiotici.

Come tutti i virus, anche i fagi non sono realmente vivi, perché non crescono, non si muovono e non producono energia, ma vanno alla deriva fino a quando, per caso, non si attaccano a batteri. A differenza degli antibiotici, che insieme ai ceppi nocivi uccidono anche i batteri utili all'organismo, il fago attacca una singola specie batterica e al massimo un paio di suoi parenti più stretti, risparmiando il restante microbioma. La maggior parte dei fagi ha una testa a forma di icosaedro, come un dado con 20 facce triangolari, che contiene i geni ed è collegata a un lungo collo che termina in una coda di fibre, che si legano ai recettori molecolari sulla parete cellulare esterna del batterio. Quindi il fago affonda una sorta di siringa attraverso la parete e inietta all'interno della cellula il proprio materiale genetico, obbligando il batterio a produrre altri esemplari del fago. Altri tipi di fagi non usati in medicina seguono la stessa tecnica ma rimangono dormienti, riproducendosi solo quando la cellula batterica si divide.

Charles Schmidt è un giornalista *freelance* che copre salute e ambiente. Per «Scientific American» si è occupato dei contaminanti pericolosi presenti nell'acqua potabile e degli effetti multigenerazionali dell'Agente Arancio in Vietnam. Vive a Portland, nel Maine.



I fagi si sono coevoluti con i batteri per miliardi di anni, e sono talmente diffusi da uccidere fino al 40 per cento di tutti i batteri negli oceani del mondo ogni giorno, con conseguenze sulla produzione di ossigeno del mare e forse anche sul clima terrestre. L'attenzione sui fagi come strumenti medici sta aumentando via via che i progressi tecnologici permettono di mettere in correlazione i virus ai loro obiettivi con maggiore accuratezza. Le poche strutture tecnicamente in grado di somministrare le terapie fagiche, rispettando i rigidi protocolli normativi, sono sommerse dalle richieste.

I trial clinici in corso iniziano a fornire i risultati di qualità necessari per convincere le autorità di controllo della validità della terapia fagica; tuttavia, permangono importanti perplessità. La principale è se la terapia fagica sia in grado di colpire le infezioni su ampia scala. I medici devono abbinare i fagi ai patogeni specifici presenti nel corpo del paziente, e non è chiaro se saranno in grado di farlo in modo conveniente dal punto di vista economico e con la velocità e l'efficienza necessarie affinché i fagi possano essere impiegati sistematicamente. Un altro problema è la mancanza di linee guida che regolino produzione, verifica e applicazione delle terapie fagiche. «Ma se la terapia ha il potenziale di salvare vite umane, in quanto società abbiamo l'obbligo di accertarne l'efficacia e trovare il modo migliore per adottarla», sostiene Jeremy J. Barr, microbiologo della Monash University di Melbourne, in Australia. «Di fronte alla crisi legata alla resistenza agli antibiotici e alla gravità della situazione, ignorare la terapia fagica sarebbe un grave errore».

Scambi di vulnerabilità

Burgholzer è venuto a conoscenza dei fagi parlando con altri malati di fibrosi cistica negli Stati Uniti. Mentre cercava informazioni su Internet, ha visto un video su YouTube realizzato dai ricercatori sui fagi della Yale University e si è messo subito in contatto con Benjamin Chan, biologo del Dipartimento di ecologia e biologia evolutiva dell'istituto. Dal suo arrivo a Yale, nel 2013, Chan ha collezionato una raccolta di fagi provenienti da acque di scolo, dal suolo e da altre fonti naturali, che mette a disposizione dei medici dello Yale New Haven Hospital e di altre strutture.

Nel 2016 il primo caso di Chan è stato un grandissimo successo. Il biologo è riuscito a isolare un fago dall'acqua di uno stagno, e i medici lo hanno usato per curare Ali Khodadoust, un famoso chirurgo degli occhi. Khodadoust soffriva di una devastante infezione da MDR al petto derivante da un intervento a cuore aperto

IN BREVE

I batteri nocivi per la salute umana stanno sviluppando una crescente resistenza agli antibiotici. Come nuova linea di attacco i medici iniziano a ricorrere ai fagi, ovvero virus che

infettano batteri.

Sono in corso trial clinici per testare diverse terapie fagiche in grado di uccidere batteri in modi differenti.

Affinché le terapie abbiano successo anche dal punto di vista commerciale, i ricercatori dovranno ridurre notevolmente i tempi e i costi necessari per trovare il giusto abbinamento tra fagi e batteri.

effettuato quattro anni prima, e assumeva dosi massicce di antibiotici tutti i giorni per cercare di combattere il suo patogeno invasore, il tenace batterio *Pseudomonas aeruginosa*. Il virus selezionato da Chan si attacca a una cosiddetta pompa di efflusso sulla parete della cellula batterica. Le pompe espellono gli antibiotici e sono spesso presenti nei batteri farmoresistenti. Quasi tutti i *P. aeruginosa* nell'organismo di Khodadoust avevano le pompe, e il fago è riuscito a ucciderli. I pochi batteri rimasti hanno affrontato un compromesso evolutivo: il fatto di non avere le pompe di efflusso aveva permesso loro di sopravvivere all'attacco dei virus, ma li aveva resi vulnerabili agli antibiotici. Grazie alla somministrazione congiunta di fagi e antibiotici, Khodadoust è guarito gradualmente nell'arco di due settimane. Il chirurgo è morto due anni dopo all'età di 82 anni per una malattia non infettiva.

Dopo quel primo caso, Chan ha fornito fagi per una dozzina di altri trattamenti sperimentali a Yale, quasi tutti su pazienti con fibrosi cistica e infezioni polmonari da *P. aeruginosa*. E ha chiesto a Burgholzer di inviargli rapidamente un campione di saliva per identificare i fagi potenzialmente utili.

Ho incontrato Chan a Yale nel dicembre 2018, dopo l'avvio del processo di selezione. Indossava una camicia a quadretti, pantaloni color crema e un paio di mocassini, e poco dopo esserci pre-

bili dai farmaci e dalle difese immunitarie di Burgholzer. «I batteri competono per avere più spazio all'interno del corpo», aveva spiegato Chan. «Quando il fago uccide improvvisamente un gran numero di batteri di una specie, in molti casi altri batteri prendono il loro posto». In sostanza, Chan sperava che i nuovi inquilini fossero meno virulenti dei loro predecessori.

Il capo di Chan, Paul Turner, ha dedicato la sua carriera allo studio dei compromessi evolutivi nel mondo microbico. Durante la visita Turner, che lavora al Dipartimento di Chan, mi ha spiegato che le terapie fagiche agiscono senza rimuovere interamente dall'organismo i batteri che provocano la malattia. Soprattutto nel curare malattie croniche, i medici possono usare i fagi per definire selettivamente la popolazione di batteri cattivi affinché sviluppino altre vulnerabilità. «Se queste dovessero riguardare gli antibiotici, meglio ancora», ha detto. Secondo Turner, la combinazione tra antibiotici e fagi per ottenere un effetto ottimale sul paziente «permette di procedere più rapidamente con la terapia fagica».

Chan e io siamo andati in auto allo Yale New Haven Hospital per assistere all'avvio delle terapie di Burgholzer. Siamo saliti in ascensore al secondo piano, dove abbiamo atteso l'arrivo di Jonathan Koff, collaboratore di Chan, pneumologo e direttore del programma sulla fibrosi cistica tra gli adulti. Poco dopo Koff è arriva-

to a grandi passi con lo zaino in spalla. Abbiamo incontrato Burgholzer in un ambulatorio; l'uomo parlava con voce stridula, l'unico segnale evidente della malattia. Mentre Koff e Chan si confrontavano, il paziente mi ha detto di voler essere in buona salute per sua figlia di tre anni. Quando è arrivato il momento della terapia, Burgholzer ha passato il cellulare alla moglie e le ha chiesto con un sorriso di scattare una

foto per la madre. Quindi ha messo un nebulizzatore su bocca e naso e ha iniziato a inalare una soluzione vaporizzata a base di fagi diretta ai polmoni.

Come tutti i virus, anche i fagi non sono realmente vivi, perché non crescono, non si muovono e non producono energia, ma vanno alla deriva fino a quando, per caso, non si attaccano a batteri

sentati mi trattava già come un amico. Dopo aver scambiato due chiacchiere nel suo ufficio ci siamo spostati nel vicino laboratorio, dove Chan mi ha mostrato una piastra di Petri. I batteri di Burgholzer avevano sviluppato una sorta di praticello grigio che copriva tutta la piastra, attraversata però da due sottili linee ben definite. I batteri in quelle linee erano tutti morti, mi ha detto Chan, in seguito al contatto con una soluzione contenente fagi che presto sarebbe stata somministrata a Burgholzer. La sua infezione era causata da tre specie del genere batterico *Achromobacter*, e Chan aveva in mente di individuare i singoli fagi in grado di colpirle una alla volta, secondo un approccio noto come terapia sequenziale monofagica. «In pratica è come se stessi giocando a scacchi in una partita contro i microbi – mi aveva detto Chan – e dobbiamo calcolare attentamente le nostre mosse».

Chan sperava di indurre un compromesso evolutivo simile a quello che a suo avviso aveva funzionato per Khodadoust. Non riuscendo a identificare un fago in grado di attaccare le pompe di efflusso di *Achromobacter*, ne aveva scelto uno che colpisce una grande proteina chiamata lipopolisaccaride (LPS), che si trova sulla membrana cellulare esterna del microbo. L'LPS ha catene laterali di molecole note come antigeni O, di lunghezza variabile. Più lunga è la catena, più grande è la resistenza del batterio agli antibiotici e al sistema immunitario dell'ospite. Chan aveva in mente di sopprimere i robusti ceppi a catena lunga con i fagi, lasciando indietro i più deboli patogeni a catena corta. Nel caso migliore, secondo Chan, una successione di fagi avrebbe trasformato la popolazione batterica in ceppi a catena corta più facilmente controlla-

Cocktail di fagi

Secondo Koff, la terapia sequenziale monofagica è utile per curare la fibrosi cistica e altre malattie croniche che confinano i batteri nocivi nel corpo. Nei casi in cui non esista un metodo certo per eliminare completamente i patogeni, afferma il medico, la tattica consiste nel cercare di indebolire i ceppi più pericolosi.

Alcuni medici stanno optando per un approccio diverso, che consiste nel somministrare ai pazienti un cocktail terapeutico a base di fagi diversi, nel tentativo di eliminare un'infezione colpendo simultaneamente una serie di meccanismi di resistenza batterica. Idealmente, ogni fago del cocktail colpirà un recettore diverso; in questo modo, se i batteri dovessero sviluppare resistenza a un virus nella miscela, gli altri virus porterebbero avanti l'attacco.

Chan e Koff sostengono che le interazioni tra fagi e batteri siano imprevedibili e che, una volta esposti ai cocktail, i patogeni potrebbero sviluppare contemporaneamente resistenza a tutti i virus nel mix, un effetto che limiterebbe di molto le successive opzioni terapeutiche. «La divisione del cocktail in trattamenti sequenziali permette di portare avanti le terapie più a lungo», dice Koff.

Jessica Sacher, cofondatrice di Phage Directory, una piattaforma indipendente per migliorare l'accesso ai fagi e alle conoscenze in materia, ritiene che entrambi i metodi siano convincenti. «Dal

La battaglia sempre più intensa per sconfiggere i batteri

Molti batteri infettivi che negli anni passati potevano essere uccisi dagli antibiotici hanno sviluppato difese in grado di annullare l'effetto dei farmaci. I fagi (virus che infettano i batteri) offrono un'arma diversa. I medici stanno sperimentando tre approcci diversi alla terapia fagica che potrebbero sconfiggere la resistenza ai farmaci, in un costante scambio di attacchi e contromisure, e allo stesso tempo tentano di stabilire se i batteri possano sviluppare o meno resistenza ai fagi.

Batteri nocivi
(in giallo)

Batteri resistenti
(in arancione)

Batteri utili
(in verde)

1 Gli antibiotici uccidono i batteri utili e quelli nocivi

Gli antibiotici penetrano in diversi batteri e ne limitano l'azione in molti modi, per esempio distruggendone le membrane cellulari o impedendone la riproduzione. Spesso questi farmaci colpiscono anche i batteri utili, ma la loro produzione non prevede costi elevati e sono facili da somministrare.

2 I fagi uccidono solo i batteri nocivi

I fagi possono colpire uno specifico batterio nocivo e risparmiare i batteri utili. Al momento, però, è difficile e costoso trovare e caratterizzare il giusto fago in natura, o crearne uno artificialmente, per attaccare efficacemente il batterio che provoca la malattia di una persona.

Il fago può uccidere attaccandosi alla membrana esterna di un batterio e iniettando il proprio materiale genetico attraverso la parete cellulare. Questo DNA dirotta il sistema riproduttivo della cellula per fare molte copie e unirle a formare nuovi fagi, che esplodono fuori dalla cellula, uccidendola.

3 Ma i batteri possono sviluppare resistenza

Alcuni batteri nocivi possono mutare e creare nuove caratteristiche cellulari in grado di resistere agli attacchi. Con il loro proliferare, questi batteri resistenti possono colpire un individuo infettato senza essere neutralizzati dai farmaci o dai fagi precedenti.

4 I batteri resistenti ai farmaci proliferano

I nuovi batteri evoluti possono resistere nell'organismo e diventare molto difficili da eliminare. I medici stanno testando diverse terapie fagiche per contrastare i batteri resistenti ai farmaci.

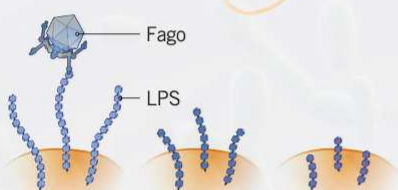
Batteri
(*Achromobacter*)

Batteri
(*A. baumannii*)

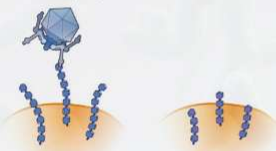
Batteri
(*P. aeruginosa*)

5 Le terapie fagiche indeboliscono la resistenza

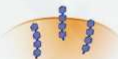
Terapia sequenziale monofagica



Il fago 1 è somministrato a un paziente e distrugge la specie 1 di *Achromobacter*, che ha lunghe catene di lipopolisaccaridi (LPS).

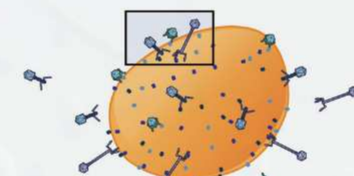
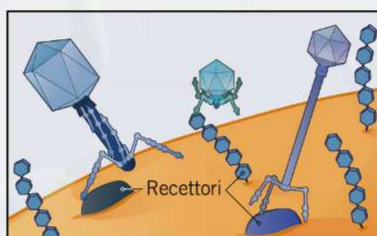


Viene quindi somministrato il fago 2 per distruggere la specie 2 di *Achromobacter*, con catene di LPS di media lunghezza.

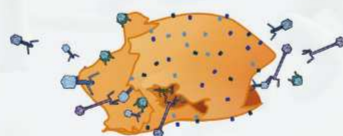


Il sistema immunitario, che fatica a sconfiggere le specie con catene più lunghe, distrugge le rimanenti specie di *Achromobacter* a catena corta.

Cocktail di fagi

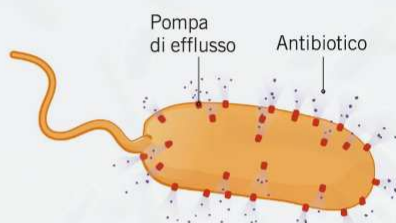


Un paziente riceve simultaneamente molti fagi differenti. Ogni fago colpisce un diverso recettore su *Acinetobacter baumannii*.



Le cellule di *A. baumannii* non sono in grado di modificare tutti i tipi di recettori per resistere ai diversi fagi e sono uccise.

Fagi e antibiotici



Pseudomonas aeruginosa ha pompe di efflusso capaci di espellere gli antibiotici che penetrano al suo interno.



I fagi attaccano le pompe di efflusso, chiudendole.



Gli antibiotici ora rimangono all'interno delle cellule di *P. aeruginosa* e le uccidono.

6 L'equilibrio batterico si ripristina

Uccidendo solo i batteri nocivi, i fagi permettono ai batteri utili di prendere il sopravvento nel microbioma di una persona, almeno fino a quando i batteri cattivi non evolvono di nuovo.

punto di vista scientifico non abbiamo prove per affermare che un metodo sia migliore dell'altro», afferma. Secondo Sacher, i cocktail potrebbero essere più idonei per i pazienti in fase acuta, che non sempre possono permettersi di attendere l'elaborazione di un piano terapeutico sequenziale da parte dei dottori.

L'urgenza si è rivelata un fattore chiave nel caso di Tom Patterson, professore dell'Università della California a San Diego, che nel 2016 è stato salvato da un cocktail di fagi in seguito a un'infezione MDR contratta durante un viaggio in Egitto. Responsabile dell'invasione era *Acinetobacter baumannii*, noto per la resistenza ai farmaci, molto comune in Asia e in rapida diffusione verso occidente. Quando i dottori hanno iniziato a somministrare a Patterson un mix di quattro virus tramite un catetere nell'addome e un quinto virus per endovena, l'uomo soffriva ormai di sindrome da disfunzione multiorgano. I medici hanno somministrato la terapia due volte al giorno per quattro settimane, ed entro tre mesi Patterson aveva completamente rimosso l'infezione. L'uomo ha ancora bisogno di un'estesa riabilitazione, ma è in buona salute.

Il caso di Patterson ha attirato l'attenzione dei mezzi di comunicazione di tutto il mondo. L'uomo è stato curato da Robert Schooley, amico di Patterson e capo del Dipartimento di malattie infettive dell'Università della California a San Diego, e la moglie di Patterson, Steffanie Strathdee, all'epoca direttrice del Global Health Institute della stessa università. Due anni dopo, grazie a un investimento iniziale di 1,2 milioni di dollari, proprio Schooley e Strathdee hanno avviato il Center for Innovative Phage Applications and Therapeutics all'Università della California a San Diego con l'obiettivo di finanziare la ricerca clinica e promuovere il settore.

Grazie a saggi sviluppati al Naval Medical Research Center di Fort Detrick, in Maryland, e alla Texas A&M University, ogni fago usato nella terapia di Patterson era stato controllato per verificare la sua abilità di uccidere *A. baumannii* in campioni ottenuti dal paziente. In sole 8-12 ore i saggi sono in grado di testare contemporaneamente centinaia di fagi e la loro azione di contrasto ai patogeni batterici, secondo Biswajit Biswas, capo della divisione dei batteriofagi del centro della Marina militare e fornitore di alcuni dei fagi usati per curare Patterson. Biswas, ideatore del saggio e creatore della banca dati di fagi del centro, afferma che il saggio permette facilmente di introdurre nuovi virus per contrastare l'insorgere della resistenza. In effetti Patterson aveva sviluppato resistenza al primo cocktail in due settimane, sollecitando il centro a prepararne un secondo con effetti più duraturi. Da allora Adaptive Phage Therapeutics, azienda con sede a Gaithersburg, in Maryland, ha concesso in licenza il saggio della marina e la sua banca dati di fagi, e presto porterà entrambi in trial clinici su pazienti con infezioni delle vie urinarie.

Il saggio della marina militare verifica solo la morte delle cellule batteriche, non rivela quali recettori sono colpiti. Se i cocktail terapeutici debbano colpire o meno i recettori noti è una questione dibattuta. Ry Young, genetista studioso di fagi alla Texas A&M, tra i fornitori di virus per la terapia di Patterson, afferma che dovrebbero. «Non sappiamo nemmeno se il successo della terapia sia dovuto ai fagi – afferma Young – ma è probabile che la terapia fagica abbia ridotto la carica batterica di Patterson a un livello gestibile dal suo sistema immunitario». Secondo Young l'approccio più idoneo ai cocktail consiste nella combinazione di tre o quattro vi-

rus che colpiscono recettori diversi sullo stesso ceppo batterico. La possibilità che un batterio sviluppi resistenza a un singolo fago è circa una su un milione, ricorda Young, mentre le possibilità che il batterio perda o sviluppi forme mutanti di recettori colpiti da tutti i fagi di un cocktail «sono pari a zero». Inoltre, l'identificazione dei recettori più importanti è fondamentale se i medici vogliono ripristinare la resistenza antibiotica dei batteri.

Barr afferma che gli scienziati lavorano per identificare i recettori colpiti dai cocktail di Patterson, ma non concorda sulla necessità di identificarli prima dell'uso. «Si tratta di un punto di vista comprensibile e di un tema molto caldo. Sappiamo poco dei fagi e dobbiamo conoscerne pro e contro prima di usarli in terapie. Questo significa dover identificare i recettori ospiti? Attualmente per farlo è necessario molto lavoro, quindi direi che non è richiesto ma è del tutto auspicabile».

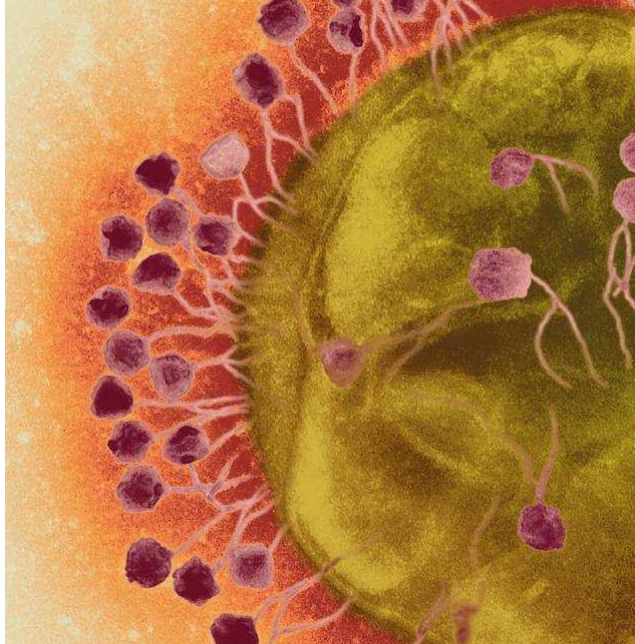
Fagi geneticamente modificati

Data l'azione imprevedibile dei cocktail, alcuni ricercatori sostengono che i fagi andrebbero modificati geneticamente al fine legarsi a recettori specifici e uccidere batteri in modi nuovi. La stragrande maggioranza dei fagi usati finora provengono dall'ambiente naturale, ma l'ingegneria genetica applicata ai fagi è un settore emergente, grazie anche a un caso di successo registrato di recente. Isabelle Carnell, un'adolescente inglese con fibrosi cisti-

Gli esperti non possono dire quale tra le terapie fagiche potrebbe essere quella vincente. Ora sono necessari risultati da trial clinici che aiutino a superare lo scetticismo residuo

ca, aveva contratto una serie di infezioni potenzialmente letali al fegato, agli arti e al tronco dopo un doppio trapianto di polmoni nel 2017. Il batterio responsabile, *Mycobacterium abscessus*, non rispondeva ad alcun antibiotico. Tuttavia nel 2019 un gruppo di ricercatori provenienti da vari istituti è riuscito a curare la ragazza con un cocktail ingegnerizzato composto da tre fagi, segnando un primato per il settore. Uno stronca naturalmente *M. abscessus* durante la fase di replicazione. Anche gli altri due uccidono i batteri, sebbene non completamente: tra il 10 e il 20 per cento sopravvive al processo. Così il gruppo diretto da Graham Hatfull, professore di scienze biologiche all'Università di Pittsburgh, ha cancellato un singolo gene da ognuno dei due fagi, trasformandoli in killer programmati geneticamente. Il cocktail dei tre fagi ha rimosso l'infezione di Carnell in sei mesi.

I fagi geneticamente modificati sono stati sviluppati per la prima volta nel 2007 da ricercatori dell'Università di Boston. Gli scienziati hanno convinto un fago a produrre un enzima che degrada più efficacemente i biofilm collosi secreti da alcuni batteri infettivi come protezione. Da allora i ricercatori hanno modificato altri fagi per uccidere uno spettro più ampio di batteri nocivi o per somministrare farmaci e vaccini a cellule specifiche. Questi virus progettati in laboratorio sono inoltre più facilmente brevettabili rispetto ai fagi naturali, rendendoli più desiderabili per le aziende farmaceutiche. A conferma di questo, nel gennaio 2019 una divisione del gigante farmaceutico Johnson & Johnson ha concluso un affare da 818 milioni di dollari con Locus Biosciences, per



Nella realtà. I fagi (in viola) attaccano una cellula batterica in un'immagine ottenuta al microscopio elettronico a trasmissione.

sviluppare fagi ingegnerizzati con la tecnica di editing genomico CRISPR.

È importante sviluppare una terapia fagica valida dal punto di vista commerciale. Barr e altri scienziati ricordano come l'intervento genetico su un fago richieda un enorme impegno in termini di tempo, denaro ed energie, e che dopo tutto i batteri presi di mira potrebbero presto sviluppare resistenza a un fago modificato. Inoltre, ricorda Barr, potrebbe essere difficile ottenere l'approvazione per la somministrazione di fagi geneticamente modificati, rispecchiando il punto di vista di molti altri scienziati intervistati. La portavoce della FDA Megan McSeveney ha però affermato in un'email che l'agenzia non fa distinzione tra fagi naturali e fagi modificati, finché i preparati terapeutici sono considerati sicuri.

Prospettive per il futuro

Al momento le aziende stanno vagliando diverse opzioni per portare i fagi in un mercato più ampio. Alcune intendono fornire ai pazienti terapie personalizzate che corrispondano precisamente alle loro infezioni, una strategia adottata anche da Adaptive Phage Therapeutics. Il CEO dell'azienda, Greg Merrill, sostiene che i saggi usati per verificare l'efficacia dei fagi del Naval Medical Research Center su campioni infettivi potrebbero essere forniti ai laboratori diagnostici e ai principali centri ospedalieri di tutto il mondo. I fagi più efficaci contro batteri localmente prevalenti in ogni regione potrebbero essere venduti nelle farmacie, sotto forma di fiale pronte all'uso approvate dalla FDA. Merrill sostiene che i medici potrebbero sorvegliare in modo costante lo sviluppo della resistenza nei pazienti, introducendo nuovi fagi in base alle necessità fino a quando le infezioni non siano sotto controllo; Merrill calcola che nell'attuale sistema di uso compassionevole il costo per paziente è di circa 50.000 dollari, una spesa che dovrebbe diminuire parecchio producendo terapie fagiche su ampia scala.

Altre aziende si rifiutano di applicare questa strategia personalizzata a favore di prodotti fagici prestabiliti più simili agli antibiotici già in commercio. Il prodotto principale di Armata Pharmaceuticals è un cocktail di tre fagi naturali che colpiscono *Staphylococcus aureus*, responsabile delle più comuni infezioni da streptococco spesso contratte in ospedale. E sono in corso trial clinici per questo cocktail su pazienti con infezioni alle pompe meccaniche del cuore. Il piano di Armata Pharmaceuticals prevede il monitoraggio dello stafilococco resistente alla terapia nella popolazione generale e poi l'introduzione di nuovi cocktail secondo le

necessità, in modo molto simile all'aggiornamento dei vaccini antinfluenzali effettuato ogni anno per farli corrispondere ai ceppi più recenti in circolazione. Secondo i manager farmaceutici, è ancora troppo presto per una stima dei costi.

Gli esperti non sono ancora in grado di stabilire quale delle attuali strategie (monoterapia sequenziale, cocktail, fagi geneticamente modificati, terapie uniformi o personalizzate) sia la più efficace, sempre che una possa essere la più efficace. L'approccio ottimale «potrebbe anche non esistere», sostiene Barr, considerato che «le terapie fagiche in ogni caso potrebbero dipendere da questioni complesse come il patogeno da colpire, la malattia e la storia medica del paziente».

Inoltre, sulla terapia fagica incombono ancora pregiudizi di tipo geopolitico, afferma Strathdee, sottolineando come per fuggere le perplessità rimanenti siano necessari risultati favorevoli provenienti da trial clinici rigorosamente controllati. Alan Davidson, biochimico dell'Università di Toronto, prevede che entro un decennio le terapie fagiche potrebbero essere più economiche, semplici e veloci da somministrare rispetto a oggi. Lo scienziato ha una preferenza per l'intervento genetico sui fagi, affermando che il sequenziamento del genoma del batterio di un paziente e la sintesi di un fago per curare l'infezione potrebbe essere un sistema più rapido rispetto allo «screening dei patogeni rispetto a una serie di virus prelevati in natura».

Nel frattempo Burgholzer, che ha continuato ad autosomministrarsi la terapia fagica per aerosol a casa fino a marzo 2019, non ha ancora visto il miglioramento clinico che si augurava. Sempre a marzo, Chan e Koff hanno introdotto un secondo fago per contrastare un altro ceppo di *Achromobacter*. Ad aprile la carica batterica nei polmoni di Burgholzer era scesa di oltre due ordini di grandezza rispetto all'inizio della terapia. «Sembra dunque che siamo in grado di selezionare i singoli ceppi in successione», mi ha detto Koff, riconoscendo però che Burgholzer non notava grandi miglioramenti in termini di funzionalità polmonare. Quando gli ho chiesto il motivo, Koff mi ha risposto: «Sappiamo molte più cose sul fago che usiamo contro *P. aeruginosa* rispetto ai fagi contro *Achromobacter*»; in altre parole, sono disponibili meno informazioni sulla possibilità di manipolarne l'infezione.

Secondo Koff, il passo successivo sarà il sequenziamento genetico di campioni di muco prelevati dai polmoni di Burgholzer. «Dobbiamo capire come si comportano i suoi batteri in modo da raggiungere il livello di precisione elevato già ottenuto con *P. aeruginosa*. Bobby ci sta dando la possibilità di capire se siamo in grado di aiutarlo». Esprimendo frustrazione, ma anche determinazione, Koff si è limitato a osservare che «alcuni pazienti rispondono meglio di altri. Dobbiamo capire queste dinamiche». ■

PER APPROFONDIRE

Global Priority List of Antibiotic-Resistant Bacteria to Guide Research, Discovery, and development of New Antibiotics. Organizzazione mondiale della Sanità, 2017.

Engineered Bacteriophages for Treatment of a Patient with a Disseminated Drug-Resistant *Mycobacterium abscessus*. Dedrick R.M. e altri, in «Nature Medicine», Vol. 25, pp. 730_733, maggio 2019.

Il sito web della Phage Directory: <https://phage.directory>.



ECONOMIA

Misurare la

disuguaglianza

Un nuovo approccio
sviluppato da fisici
e matematici descrive
con una precisione
senza precedenti
la distribuzione
della ricchezza nelle
economie moderne

di Bruce M. Boghosian

IN BREVE

La disuguaglianza nella ricchezza sta aumentando in molte nazioni a un ritmo allarmante; gli Stati Uniti hanno la più alta disuguaglianza nel mondo sviluppato.

Un modello molto semplice di distribuzione della ricchezza sviluppato da un gruppo di fisici e matematici riesce a riprodurre la disuguaglianza presente in diverse

nazioni con una precisione senza precedenti.

Sorprendentemente, diversi modelli matematici delle economie di libero mercato mostrano le

stesse caratteristiche di sistemi fisici complessi macroscopici come i ferromagneti, comprese le transizioni di fase, la rottura della simmetria e la dualità.



La disuguaglianza nella distribuzione della ricchezza aumenta a un ritmo allarmante non solo negli Stati Uniti, ma anche in paesi diversi tra loro come Russia, India e Brasile. Secondo la banca d'investimento Credit Suisse, la frazione della ricchezza globale delle famiglie detenuta dall'1 per cento più ricco della popolazione mondiale è aumentata dal 42,5 al 47,2 per cento tra la crisi finanziaria del 2008 e il 2018. In altre parole, nel 2010, 388 individui possedevano la stessa ricchezza personale di tutta la metà più povera della popolazione mondiale: circa 3,5 miliardi di persone; oggi Oxfam stima che questo numero di individui sia sceso a 26.

Le statistiche di quasi tutte le nazioni che misurano la ricchezza nei loro sondaggi sulle famiglie indicano che si sta concentrando sempre più.

Sebbene le origini della disuguaglianza siano oggetto di accesi dibattiti, un approccio sviluppato da alcuni fisici e matematici, incluso il mio gruppo alla Tufts University, suggerisce che queste origini non siano poi così misteriose, bensì derivino da una nota stranezza dell'aritmetica. Questo metodo fa uso di modelli di distribuzione della ricchezza «basati su agenti» (*agent based*), che iniziano con una singola transazione appunto tra due «agenti», ognuno dei quali cerca di ottimizzare il proprio risultato finanziario. Nel mondo moderno non c'è niente che sembri più giusto o naturale di due persone che decidono di scambiare beni, accordandosi su un prezzo e stringendosi la mano; anzi, l'apparente stabilità di un sistema economico derivante da questo equilibrio di domanda e offerta tra i singoli attori è considerata come un caposaldo del pensiero dell'illuminismo, al punto che molti sono giunti a considerare il libero mercato come parte dell'idea stessa di libertà. I nostri modelli matematici apparentemente semplicissimi, basati su transazioni volontarie, fanno però ritenere che sia arrivato il momento di un serio riesame di questa idea.

In particolare, il modello affine della ricchezza (chiamato così per le sue proprietà matematiche) può descrivere la distribuzione della ricchezza tra le famiglie in diversi paesi sviluppati con una precisione elevata, rivelando una sottile asimmetria che tende a concentrare la ricchezza. Riteniamo che questo approccio puramente analitico, che somiglia a una radiografia nel senso che non lo si usa tanto per rappresentare il disordine del mondo reale quanto per eliminarlo e rivelare lo scheletro sottostante, permetta di capire a fondo le forze che oggi agiscono per aumentare la povertà e la disuguaglianza.

Oligarchia

Nel 1986 il sociologo matematico John Angle descrisse per la prima volta il movimento e la distribuzione della ricchezza in termini di transazioni a coppie all'interno di un insieme di «agenti economici», che potevano essere individui, famiglie, aziende, fondi o altre entità. All'inizio di questo secolo i fisici Slava Ispolatov, Pavel L. Krapivsky e Sidney Redner, che lavoravano tutti alla Boston University, nonché Adrian Drăgulescu, oggi al Constellation Energy Group, e Victor Yakovenko, dell'Università del Maryland, avevano dimostrato che questi modelli basati su agenti si potevano analizzare con gli strumenti della fisica statistica, il che portò a rapidi progressi nello studio del loro comportamento. Il risultato è che secondo molti di questi modelli la ricchezza si sposta inesorabilmente da un agente all'altro, anche se si basano su scambi equi tra attori uguali. Nel 2002 Anirban Chakraborti, all'epoca al Saha Institute of Nuclear Physics di Kolkata, in India, ha introdotto quello che è diventato noto come il «modello del mercatino» (*yard sale model*), chiamato così perché ha alcune caratteristiche delle vere transazioni economiche tra privati. Ha anche usato simulazioni numeriche per dimostrare che in questo modo la ricchezza si concentrava inesorabilmente, giungendo a un'oligarchia.

Per capire come accada, immaginiamo di essere in un casinò e di essere invitati a partecipare a un gioco. Dobbiamo puntare al tavolo una certa cifra – diciamo 100 dollari – dopo di che si tira una moneta bilanciata (non truccata). Se la moneta dà testa, il banco ci pagherà il 20 per cento di quello che c'è sul tavolo, che così arriverà a 120 dollari. Se la moneta dà croce, il banco prenderà il 17 per cento della cifra sul tavolo, dove rimarranno quindi 83 dollari. Possiamo lasciare il denaro sul tavolo per tutti i lanci che vogliamo (senza mai aggiungere o togliere niente). Ogni volta che giochiamo vinciamo il 20 per cento della somma sul tavolo se la mo-

Vincitori, perdenti

Il «mercato», un semplice modello matematico sviluppato dal fisico Anirban Chakraborti, assume che la ricchezza si sposti da una persona all'altra quando la prima compie un «errore» in uno scambio economico. Se l'importo pagato per un oggetto è esattamente uguale al suo valore, nessuna quantità di ricchezza cambia di mano. Se però una persona paga troppo o se l'altra accetta meno del valore dell'oggetto, una quota di ricchezza si trasferisce dall'una all'altra. Poiché nessuno vuole andare in rovina, Chakraborti parte dall'ipotesi che la quantità di ricchezza che può essere perduta sia una certa frazione della ricchezza della persona più povera. Ha scoperto che anche se il risultato di ogni transazione venisse deciso in base al lancio di una moneta non truccata, molte di queste vendite e acquisti porterebbero inevitabilmente a far sì che tutta la ricchezza finisca nelle mani di una sola persona, e quindi a una situazione di estrema disuguaglianza.

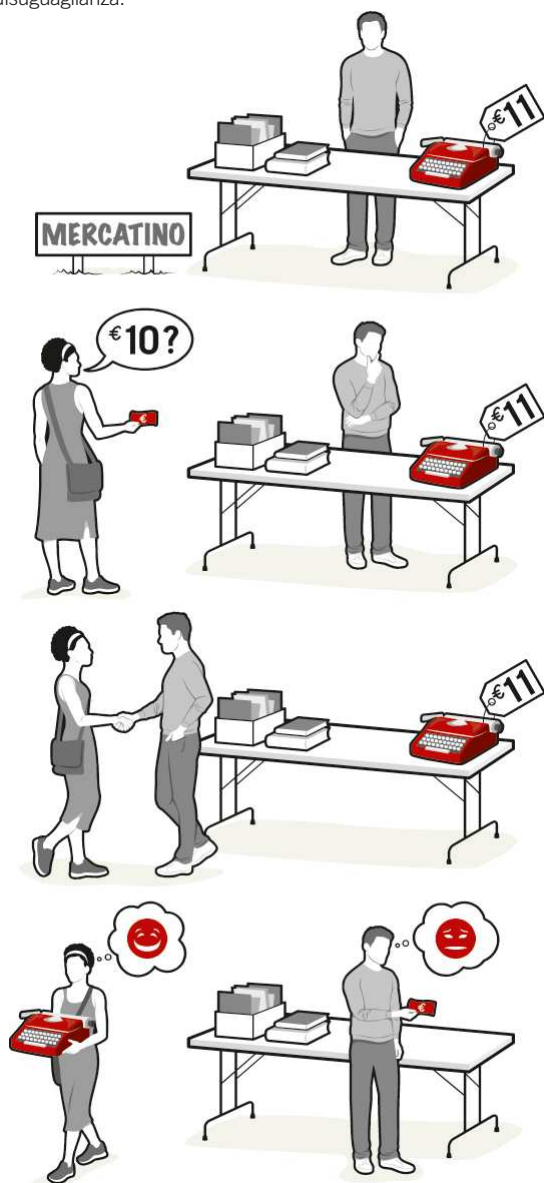


Illustrazione di Brown Bird Design

netta dà testa e perdiamo il 17 per cento se dà croce. Ci conviene accettare di giocare?

È possibile ragionare in due modi, entrambi piuttosto convincenti, per decidere che fare. Possiamo pensare: «Ho una probabilità pari a 1/2 di guadagnare \$20 e una probabilità di 1/2 di perdere \$17. Il mio guadagno atteso è quindi:

$$1/2 \times (+\$20) + 1/2 \times (-\$17) = \$1,50$$

che è positivo. In altre parole, le mie probabilità di vincere e perdere sono pari, ma il mio guadagno se vinco sarà maggiore della mia perdita se perdo». Da questo punto di vista, partecipare al gioco sembra vantaggioso.

Oppure possiamo ragionare un po' come uno scacchista: «Che cosa succede se continuo per dieci lanci della moneta? Un risultato probabile è che cinque daranno testa e gli altri cinque croce. Ogni volta che esce testa, la mia posta viene moltiplicata per 1,2; ogni volta che esce croce, viene moltiplicata per 0,83. Dopo cinque vincite e cinque perdite, qualunque sia l'ordine, la quantità di denaro rimanente sul tavolo sarà:

$$1,2 \times 1,2 \times 1,2 \times 1,2 \times 1,2 \times 0,83 \times 0,83 \times 0,83 \times 0,83 \times 0,83 \times \$100 = \$98,02$$

e quindi avrò perso circa due dollari dei 100 della mia puntata originale». Facendo qualche altro conto possiamo concludere che ci vogliono circa 93 vincite per compensare 91 perdite. Da questo punto di vista, partecipare al gioco sembra svantaggioso.

La contraddizione tra i due diversi ragionamenti può sembrare inizialmente sorprendente, ma è ben nota nell'ambito della probabilità e della finanza. Il suo nesso con la disuguaglianza delle ricchezze è invece meno familiare. Per estendere la metafora del casinò al movimento della ricchezza in un'economia (estremamente semplificata), immaginiamo un sistema di 1000 individui impegnati in scambi a due a due. Ognuno comincia con un patrimonio iniziale, che può essere uguale per tutti. Scegliamo due agenti a caso e facciamo svolgere loro una transazione, poi facciamo lo stesso con altri due e così via. In altre parole, questo modello prevede transazioni che si verificano sequenzialmente tra coppie di agenti scelti casualmente. L'idea è di svolgere milioni o miliardi di transazioni di questo tipo nella nostra popolazione di 1000 persone e vedere come risulta distribuita la ricchezza alla fine.

In che consiste una transazione tra due agenti? Tutti noi abbiamo una naturale avversione al rimanere al verde, e quindi supponiamo che l'importo in gioco, che chiamiamo Δw , sia solo una piccola parte della ricchezza della persona più povera, diciamo Stefania. Così, anche se Stefania perde in una transazione con Enrico, la persona più ricca, l'importo di cui sarà privata è sempre inferiore alla sua ricchezza totale. Questo non è un presupposto irragionevole, e anzi coglie una limitazione autoimposta che la maggior parte delle persone rispetta istintivamente nella propria vita economica. Per cominciare, ma solo perché si tratta di numeri che ci sono già familiari, supponiamo che Δw sia il 20 per cento della ricchezza di Stefania, w , se vince e -17 per cento di w se perde. In realtà il nostro modello prevede che le percentuali di vincita e perdita siano uguali, ma il risultato generale è valido in ogni caso. Inoltre, se si aumenta o si diminuisce Δw si ottiene solo di estendere la scala temporale, dunque sono necessarie più transazioni prima di poter osservare il risultato finale, che rimarrà inalterato.

Se il nostro obiettivo è ottenere un modello di un'economia di



mercato equa e stabile, dobbiamo partire dall'ipotesi che nessuno abbia un vantaggio di alcun tipo, quindi decidiamo la direzione in cui si muove Δw con il lancio di una moneta bilanciata. Se esce testa, Stefania riceve una cifra pari al 20 per cento della propria ricchezza da Enrico; con croce sarà lei a consegnargli il 17 per cento. Ora scegliamo casualmente un'altra coppia di agenti dal totale di 1000 e operiamo nello stesso modo, dopo di che proseguiamo e lo facciamo un milione o un miliardo di volte. Che succede?

Se simuliamo questa economia, una variante del modello del mercatino, otterremo un risultato notevole: dopo un gran numero di transazioni, un agente finisce per diventare un «oligarca» che detiene praticamente tutta la ricchezza dell'economia, mentre gli altri 999 finiscono senza quasi niente. Non importa la ricchezza con cui i 1000 avevano iniziato; non importa che tutti i lanci di monete fossero assolutamente bilanciati; non importa che in ogni transazione il valore atteso dell'agente più povero era positivo, mentre quello dell'agente più ricco era negativo. In questa economia uno qualsiasi degli agenti sarebbe potuto diventare l'oligarca, tutti con le stesse probabilità. Da questo punto di vista le opportunità erano pari, ma di fatto solo uno di loro diventa l'oligarca mentre tutti gli altri vedono la loro ricchezza media tendere a zero via via che conducono le transazioni. Per aggiungere la beffa al danno, più piccola è la ricchezza di un agente, più rapido è il calo.

Il risultato sorprende perché vale anche se tutti gli agenti hanno iniziato con una ricchezza identica e sono stati trattati in modo simmetrico. I fisici descrivono fenomeni di questo tipo come «rottura della simmetria» (*si veda il box a p. 62*). Il primo lancio della moneta in assoluto trasferisce denaro da un agente a un altro, creando uno squilibrio tra i due. E una volta che abbiamo una disparità nella ricchezza, per quanto esigua, le successive transazioni sposteranno sistematicamente un rivolo di ricchezza dagli agenti più poveri a quelli più ricchi, amplificando la disuguaglianza fino a quando il sistema raggiungerà uno stato di oligarchia.

Se l'economia è disuguale fin dall'inizio, probabilmente la ricchezza dell'agente più povero sarà la più veloce a diminuire. Dove va a finire? Deve andare ad agenti più ricchi, visto che non ci so-

no agenti più poveri di lui. Le cose non vanno molto meglio per il secondo agente più povero. A lungo termine, tutti i partecipanti a questa economia, a eccezione di quello più ricco, vedranno i loro beni diminuire esponenzialmente. Nel 2015, in due articoli distinti, io e i miei colleghi alla Tufts University e Christophe Chorro dell'Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne abbiamo dimostrato matematicamente il risultato suggerito dalle simulazioni di Chakraborti: che il modello del mercatino sposta inesorabilmente la ricchezza da una parte all'altra.

Ciò significa che gli agenti più poveri non vincono mai, o che quelli più ricchi non perdono mai? No di certo. Ancora una volta la situazione somiglia a quella di un casinò: qualche volta si vince e qualche volta si perde, ma più a lungo si rimane e più è probabile perdere. Il libero mercato è essenzialmente un casinò da cui non si può mai uscire. Quando il rivolo di ricchezza descritto in precedenza, che a ogni transazione scorre dal povero al ricco, viene moltiplicato per 7,7 miliardi di persone in un mondo in cui si svolgono innumerevoli transazioni ogni anno, il rivolo diventa un fiume. Le disuguaglianze diventano inevitabilmente più pronunciate per via degli effetti collettivi di un numero enorme di transazioni apparentemente innocue ma sottilmente asimmetriche.

La condensazione della ricchezza

Ci si potrebbe chiedere come questo modello, anche se matematicamente accurato, possa avere qualcosa a che fare con la realtà. Dopotutto descrive un'economia del tutto instabile che inevitabilmente degenera fino a un'oligarchia completa, mentre nel mondo non ci sono oligarchie complete. È vero che, di per sé, il modello del mercatino non è in grado di spiegare le distribuzioni empiriche della ricchezza. Per ovviare a questa carenza il mio gruppo l'ha perfezionato in tre modi per renderlo più realistico.

Nel 2017 Adrian Devitt-Lee, Merek Johnson, Jie Li, Jeremy Marcq, Hongyan Wang e il sottoscritto, tutti della Tufts, hanno aggiunto una ridistribuzione della ricchezza. Per mantenere la semplicità desiderabile nei modelli matematici applicati, l'abbiamo inserita facendo in modo che dopo ogni transazione ciascun agente

La disuguaglianza nero su bianco

All'inizio del XX secolo l'economista statunitense Max O. Lorenz mise a punto un modo utile per quantificare la disuguaglianza della ricchezza. Tracciò un grafico in cui alla frazione di ricchezza posseduta da individui con ricchezza minore di w si fa corrispondere la frazione di individui con ricchezza minore di w .

Poiché entrambe le quantità sono frazioni che vanno da zero a uno, il grafico entra perfettamente nel quadrato di lato uno.

Il doppio dell'area tra la curva di Lorenz e la diagonale è chiamato coefficiente di Gini, una misura della disuguaglianza comunemente usata.

Consideriamo innanzitutto il caso dell'uguaglianza completa.

Se ogni individuo ha esattamente la stessa ricchezza, presa comunque una frazione della popolazione, essa ha esattamente quella frazione della ricchezza totale. La curva di Lorenz è quindi proprio la diagonale (linea verde in **A**) e il coefficiente di Gini è zero.

All'opposto, se un oligarca ha tutta la ricchezza e tutti gli altri non hanno nulla, la frazione più povera f della popolazione non ha alcuna ricchezza per ogni valore di f inferiore a uno, e quindi la curva di Lorenz vale zero in tutti questi punti, mentre quando f è uguale a uno, viene incluso l'oligarca e la curva salta improvvisamente a uno.

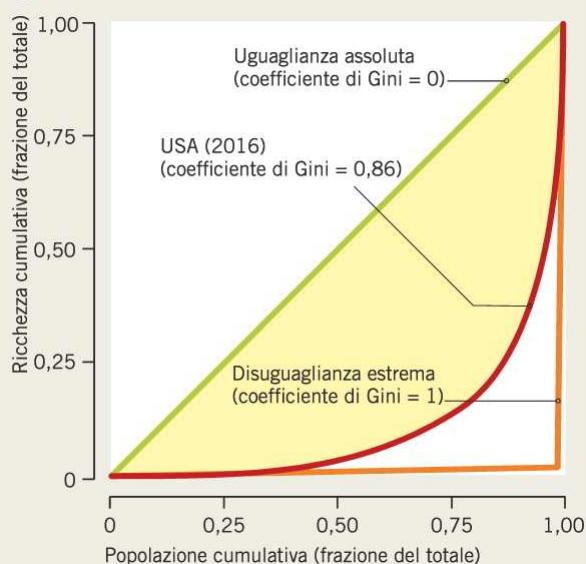
L'area tra questa curva di Lorenz (linea arancione) e la diagonale è metà dell'area del quadrato, cioè $1/2$, e quindi il coefficiente di Gini è uno.

Il coefficiente di Gini può così variare da zero (uguaglianza assoluta) a uno (oligarchia). Come è immaginabile, la realtà si trova tra questi due estremi. La linea rossa mostra la curva di Lorenz per la ricchezza degli Stati Uniti nel 2016, in base ai dati del Survey of Consumer Finances della Federal Reserve Bank. Il doppio dell'area colorata (in giallo) compresa tra questa curva e la diagonale è circa 0,86, tra i più alti coefficienti di Gini nel mondo sviluppato.

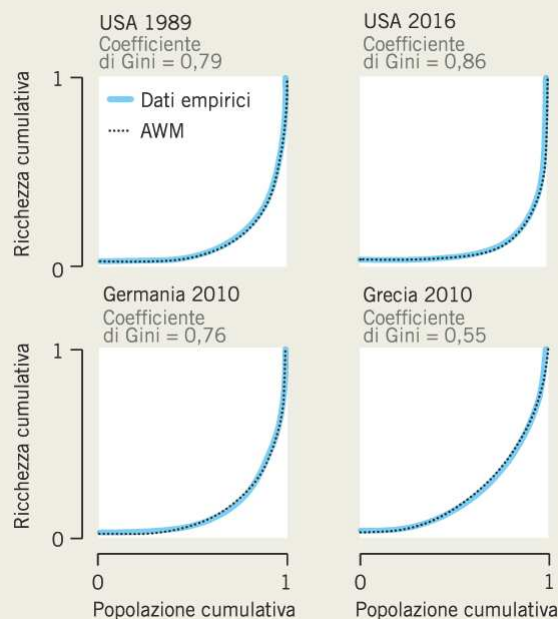
I quattro grafici più piccoli (**B**) mostrano la corrispondenza tra il modello affine della ricchezza (o AWM, da *Affine Wealth Model*) e le curve di Lorenz reali per gli Stati Uniti nel 1989 e nel 2016 e per la Germania e la Grecia nel 2010. I dati provengono dalla Federal Reserve Bank (Stati Uniti, come sopra) e dalla Banca centrale europea (Germania e Grecia).

La discrepanza tra la curva dell'AWM e quella di Lorenz è inferiore a un quinto dell'1 per cento per gli Stati Uniti e a un terzo dell'1 per cento per le nazioni europee. Il coefficiente di Gini per gli Stati Uniti (nel grafico) è aumentato tra il 1989 e il 2016, indicando un incremento della disuguaglianza.

A Curve di Lorenz



B Dati empirici a confronto con il modello affine della ricchezza (AWM)



compisse un passo in direzione della ricchezza media della società. L'entità di questo passo era una percentuale χ (la lettera greca «chi») della sua distanza dalla media. Ciò equivale a una tassa patrimoniale *flat* per i ricchi (con aliquota fiscale χ per unità di tempo) e un sussidio per i poveri. Di fatto trasferiamo ricchezza da chi è al di sopra della media a chi è sotto. Abbiamo scoperto che questa semplice modifica stabilizzava la distribuzione della ricchezza, tanto che non si manifestava più l'oligarchia. Un risultato sorprendente è che così il nostro modello combacia con i dati empirici sulla distribuzione della ricchezza negli Stati Uniti e in Europa tra il 1989 e il 2016 con uno scarto di meno del 2 per cento. Il parametro χ sembra riassumere in sé una serie di tasse e sussidi del mon-

do reale che sarebbero troppo caotici per poterli includere separatamente in un modello essenziale come questo.

Inoltre, è ben documentato che i ricchi godono di vantaggi economici sistematici come tassi di interesse inferiori sui prestiti e una migliore consulenza finanziaria, mentre i poveri soffrono di svantaggi sistematici come il bisogno di piccoli prestiti a condizioni svantaggiose e la mancanza di tempo per cercare i prezzi migliori. Come osservò una volta James Baldwin, «chiunque si sia confrontato con la povertà sa quanto sia costoso essere poveri». Di conseguenza, nello stesso articolo già menzionato abbiamo tenuto conto di ciò che chiamiamo vantaggio dovuto alla ricchezza. Abbiamo distorto il lancio della moneta in favore dell'indivi-

La fisica della disuguaglianza

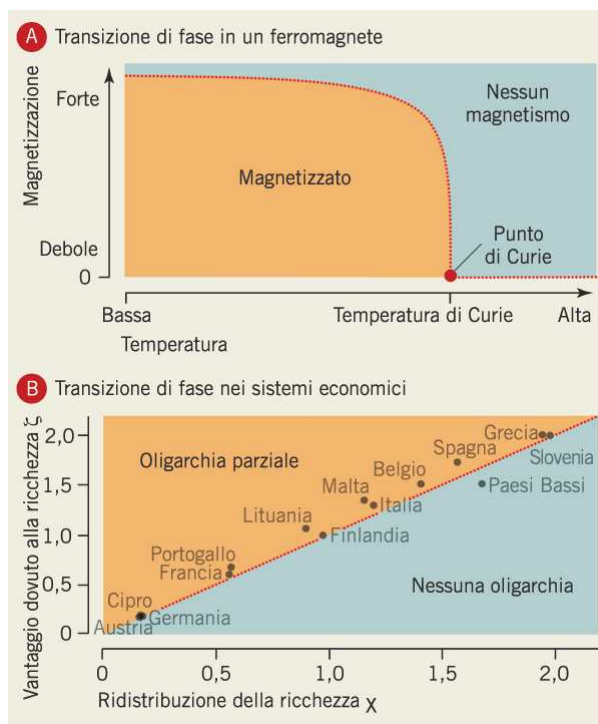
Quando, a 100 gradi Celsius, l'acqua bolle e si trasforma in vapore acqueo, subisce una transizione di fase, che è un cambiamento improvviso e significativo. Per esempio, il volume che occupa (a una data pressione) aumenta in modo discontinuo all'aumentare della temperatura. Allo stesso modo, l'intensità di un ferromagnete scende a zero (*linea arancione in A*) quando la sua temperatura aumenta fino a un punto chiamato temperatura di Curie, T_c . A temperature superiori a T_c , la sostanza non presenta più magnetismo. Il calo verso zero del magnetismo è continuo via via che la temperatura si avvicina a T_c dal basso, ma il grafico della magnetizzazione rispetto alla temperatura mostra una piega netta in T_c .

Viceversa, quando la temperatura di un ferromagnete viene abbassata da sopra a sotto T_c , appare spontaneamente una magnetizzazione dove non ce n'era stata. La magnetizzazione ha un orientamento spaziale intrinseco – la direzione che va dal polo sud al polo nord del magnete – e ci si potrebbe chiedere in che modo appaia. In assenza di un campo magnetico esterno che possa indicare una direzione preferenziale, la rottura della simmetria rotazionale è «spontanea». (La simmetria rotazionale è la proprietà che il sistema ha a temperature superiori a T_c di essere identico in ogni direzione.) La magnetizzazione si manifesta quindi improvvisamente e la sua direzione è casuale (o, più precisamente, dipendente da fluttuazioni microscopiche al di là della nostra idealizzazione del ferromagnete come sistema macroscopico continuo).

Anche nei sistemi economici possono verificarsi transizioni di fase. Quando, nel modello affine della ricchezza, il parametro del vantaggio dovuto alla ricchezza ζ è minore del parametro di ridistribuzione χ , la distribuzione della ricchezza non è nemmeno parzialmente oligarchica (*regione azzurra in B*). Quando ζ supera χ , invece, una frazione finita della ricchezza dell'intera popolazione si «condensa» nelle mani di una frazione infinitesimale degli agenti più ricchi. Il ruolo della temperatura è svolto dal rapporto χ/ζ e la condensazione della ricchezza si manifesta quando questa grandezza scende al di sotto di 1.

Un'altra sottile simmetria mostrata da sistemi complessi macroscopici è la «dualità», che descrive una corrispondenza uno a uno tra gli stati di una sostanza al di sopra e al di sotto della temperatura critica, in corrispondenza della quale avviene la transizione di fase. Per il ferromagnetismo, mette in relazione un sistema magnetizzato ordinato a temperatura T minore di T_c con il suo «duale», un sistema disordinato e non magnetizzato alla cosiddetta temperatura inversa, $(T_c)^2/T$, che è al di sopra di T_c . La temperatura critica è esattamente quella a cui la temperatura del sistema e la temperatura inversa coincidono (cioè $T = (T_c)^2/T$). La teoria della dualità ha un ruolo sempre più importante nella fisica teorica, e in particolare nella gravità quantistica.

Come nel ferromagnetismo, anche nel modello affine della ricchezza si



verifica una dualità, come è stato dimostrato da Jie Li e dal sottoscritto nel 2018. Uno stato con $\zeta < \chi$ non è un'oligarchia parziale, mentre uno stato corrispondente in cui questa relazione è invertita – cioè in cui anziché la «temperatura» χ/ζ si ha il suo inverso, $\zeta/\chi - 1$ – lo è. È interessante notare che questi due stati duali hanno esattamente la stessa distribuzione della ricchezza se ignoriamo l'oligarcha nell'economia con la ricchezza condensata (e la ricchezza totale viene ricalcolata per tenere conto dell'omissione).

È significativo che la maggior parte delle nazioni sia molto vicina alla criticità. Un diagramma in cui 14 delle nazioni servite dalla Banca Centrale Europea sono mostrate nel piano χ - ζ (B) mostra che la maggior parte si trova vicino alla diagonale. Tutte tranne una (ovvero i Paesi Bassi) si trovano appena sopra la diagonale, indicando che sono lievemente oligarchiche. È possibile che la disuguaglianza aumenti spontaneamente fino a quando iniziano a formarsi le oligarchie, e che a quel punto aumentino le pressioni politiche che impediscono un'ulteriore riduzione dell'uguaglianza.

duo più ricco, di una quantità proporzionale a un nuovo parametro, ζ (la lettera greca «zeta»), moltiplicato per la differenza di ricchezza divisa per la ricchezza media. Questa semplice aggiunta, che rappresenta un gran numero di distorsioni a favore dei più abbienti, migliora l'accordo tra il modello e la parte superiore della coda delle distribuzioni effettive dei patrimoni.

Inoltre, includere il vantaggio dovuto alla ricchezza fa apparire il fenomeno dell'oligarchia parziale e ne dà una definizione matematica precisa. Ogni volta che l'influenza del vantaggio dovuto alla ricchezza supera quella della ridistribuzione (quando ζ è maggiore di χ), una frazione tendente a zero delle persone avrà una frazione

finita, $1 - \chi/\zeta$, della ricchezza di tutta la società. La comparsa dell'oligarchia parziale è di fatto una transizione di fase per un altro modello di transazioni economiche, descritto per la prima volta nel 2000 dai fisici Jean-Philippe Bouchaud, ora all'École Polytechnique, e Marc Mézard, dell'École Normale Supérieure. Nel nostro modello, se ζ è minore di χ il sistema ha un solo stato stabile, senza oligarchia; se ζ supera χ , appare un nuovo stato oligarchico che diventa stabile (*si veda il box in questa pagina*). Il modello del mercato esteso con due parametri (χ e ζ) così ottenuto combacia con i dati empirici sulla distribuzione della ricchezza negli Stati Uniti e in Europa dal 1989 al 2016 con uno scarto tra l'1 e il 2 per cento.

Fonte: Bruce M. Boghosian; Banca centrale europea (dati delle nazioni)

Una transizione di fase di questo tipo svolse forse un ruolo cruciale nella condensazione della ricchezza seguita al crollo dell'Unione Sovietica nel 1991. L'imposizione della cosiddetta terapia d'urto economica agli Stati dell'ex URSS ebbe come effetto una forte riduzione della ridistribuzione della ricchezza (una decrescita di χ) da parte dei governi e un concomitante incremento del vantaggio dovuto alla ricchezza (crescita di ζ) per via degli effetti combinati dell'improvvisa privatizzazione e della deregolamentazione. La conseguente diminuzione della «temperatura» χ/ζ gettò i paesi in uno stato di ricchezza condensata, così le nazioni ex comuniste sono diventate oligarchie parziali quasi da un giorno all'altro. A oggi almeno 10 delle 15 ex repubbliche sovietiche si possono descrivere accuratamente come oligarchie.

Nel 2019 abbiamo introdotto nel nostro modello un terzo perfezionamento: la ricchezza negativa, uno degli aspetti più inquietanti delle economie moderne. Nel 2016, per esempio, circa il 10,5 per cento della popolazione degli Stati Uniti era in debito a causa di mutui, prestiti per studenti e altri fattori. Abbiamo quindi introdotto un terzo parametro, κ (la lettera «kappa»), che sposta verso il basso la distribuzione della ricchezza, spiegando così la ricchezza negativa. Abbiamo supposto che la minima ricchezza che potesse avere in ogni momento l'agente più povero fosse $-S$, dove S è uguale a κ volte la ricchezza media. Prima di ogni transazione abbiamo prestato una quantità S a entrambi gli agenti in modo che ognuno avesse una ricchezza positiva; a quel punto effettuavano la transazione secondo il modello esteso del mercatino, descritto in precedenza, dopo di che entrambi rimborsavano il debito di S .

Il modello a tre parametri (χ , ζ , κ) così ottenuto, chiamato modello affine della ricchezza, riesce a riprodurre i dati empirici sulla distribuzione della ricchezza negli Stati Uniti a meno di un sesto di punto percentuale su un periodo di trent'anni. Per inciso, in matematica la parola «affine» descrive qualcosa che scala in modo moltiplicativo e trasla in modo additivo. In questo caso alcune caratteristiche del modello, come il valore di Δu , variano moltiplicandole per la ricchezza dell'agente, mentre altre, come l'aggiunta o la sottrazione di S , sono traslazioni, cioè spostamenti, additive nello «spazio della ricchezza». Il modello combacia con i dati europei sulla distribuzione della ricchezza per il 2010 meglio di un valore compreso tra un terzo e un mezzo di punto percentuale (si veda il box nella pagina a fronte).

Per ottenere questi confronti con i dati reali abbiamo dovuto risolvere il «problema inverso»: data cioè la distribuzione empirica della ricchezza, abbiamo dovuto trovare i valori di (χ , ζ , κ) per i quali i risultati del nostro modello la descrivono più da vicino. Per fare un solo esempio, la distribuzione della ricchezza delle famiglie degli Stati Uniti del 2016 è descritta nel modo migliore con $\chi = 0,036$, $\zeta = 0,050$ e $\kappa = 0,058$. Il modello affine della ricchezza è stato applicato ai dati empirici di molte nazioni ed epoche. Per quanto che ne sappiamo, descrive i dati sulla distribuzione della ricchezza in modo più accurato rispetto a qualsiasi altro modello esistente.

Rivolo verso l'alto

Troviamo interessante osservare che il modello più calzante della distribuzione empirica della ricchezza scoperto finora sarebbe del tutto instabile senza ridistribuzione, anziché essere fondato su un presunto equilibrio delle forze di mercato. Di fatto questi

modelli matematici dimostrano che la ricchezza, lungi dallo scendere in un rivolo fino ai poveri, ha un'inclinazione a fluire verso l'alto, cosicché la distribuzione «naturale» della ricchezza in un'economia di libero mercato è quella di una completa oligarchia. È solo la ridistribuzione che pone limiti alla disuguaglianza.

I modelli matematici richiamano l'attenzione anche su quanto la distribuzione della ricchezza sia dovuta alla rottura della simmetria, al caso e al vantaggio iniziale (per esempio, un'eredità). E la presenza di rotture della simmetria mette a tacere le argomentazioni sul fatto che la disuguaglianza nella ricchezza sarebbe giusta in nome della «volontarietà» – l'idea che gli individui abbiano tutta la responsabilità della loro situazione economica semplicemente perché partecipano volontariamente alle transazioni – e all'idea che l'accumulo di ricchezza deve essere il risultato di intelligenza e laboriosità. È vero che la posizione di un individuo nello spettro della ricchezza ha una certa correlazione con queste caratteristiche, ma la forma complessiva di questo spettro si può spiegare con un errore inferiore allo 0,33 per cento con un modello statistico che le ignora del tutto. La fortuna ha un ruolo molto più importante di quello che le viene generalmente riconosciuto, e quindi la virtù comunemente attribuita alla ricchezza nella società moderna – e, allo stesso modo, lo stigma attribuito alla povertà – è completamente ingiustificata.

Inoltre, solo un meccanismo per la ridistribuzione attentamente studiato può compensare la tendenza naturale della ricchezza a fluire dai poveri ai ricchi in un'economia di mercato. La ridistribuzione è spesso confusa con le tasse, ma i due concetti vanno mantenuti distinti. Il prelievo fiscale fluisce dai cittadini allo Stato per finanziare le attività di quest'ultimo. La ridistribuzione, invece, può essere messa in atto dallo Stato, ma va pensata come un flusso di ricchezza da cittadini a cittadini per compensare l'iniustizia intrinseca dell'economia di mercato. Nel più semplice schema di ridistribuzione, tutti coloro con una ricchezza al di sotto della media ricevono fondi, mentre chi è al di sopra pagherebbe. E dato che gli attuali livelli di disuguaglianza sono così estremi, molte più persone riceverebbero di quante pagherebbero.

Considerando quanto sono complicate le economie reali, troviamo soddisfacente che un approccio analitico semplice sviluppato da fisici e matematici descriva le attuali distribuzioni della ricchezza in varie nazioni con un'accuratezza senza precedenti. È anche curioso che queste distribuzioni mostrino caratteristiche sottili ma fondamentali tipiche di sistemi fisici complessi. Ma soprattutto il fatto che un ritratto del libero mercato semplice e plausibile come il modello affine della ricchezza dia origine a economie tutt'altro che libere ed eque dovrebbe essere sia motivo di allarme che un invito all'azione. ■

PER APPROFONDIRE

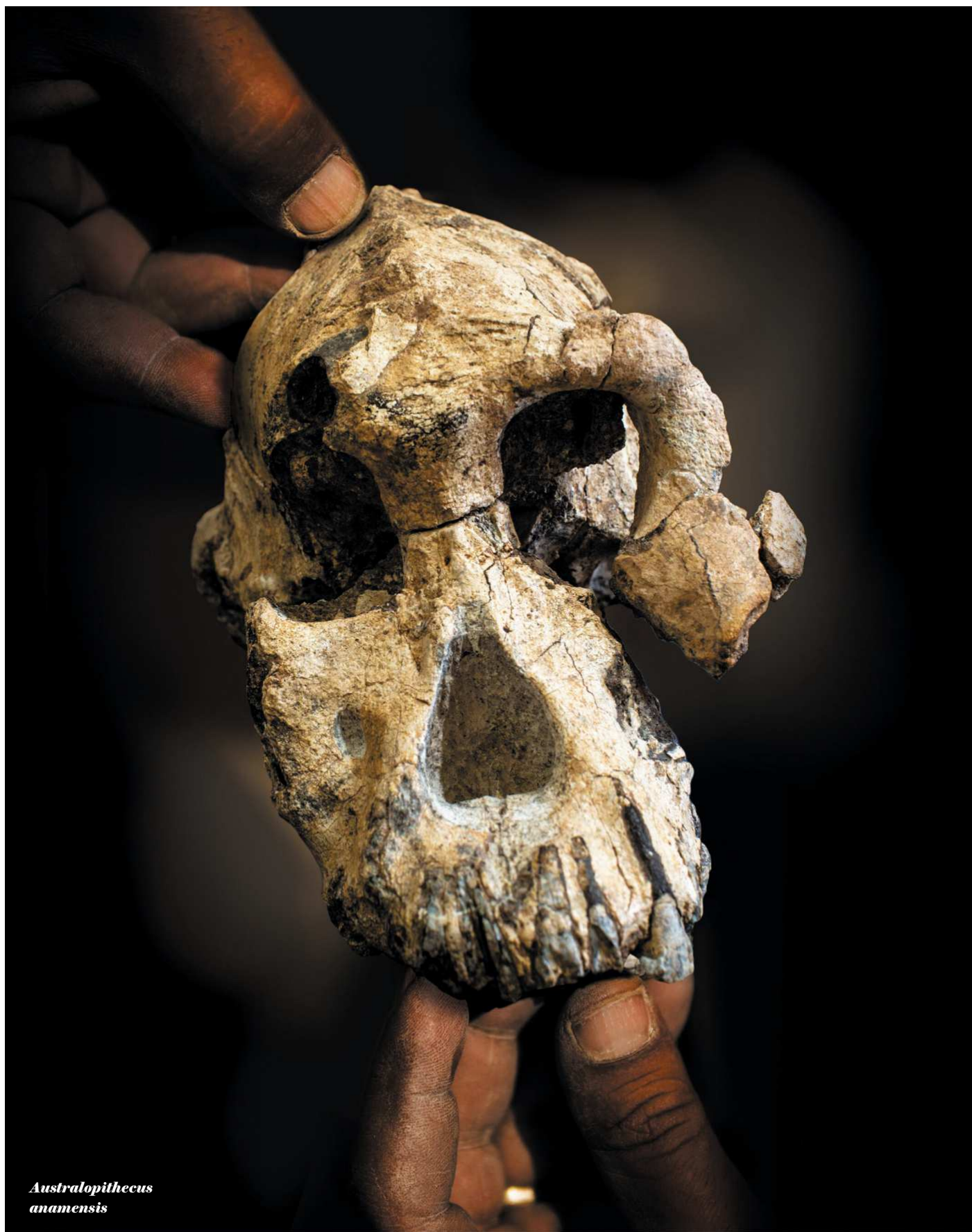
A Nonstandard Description of Wealth Concentration in Large-Scale

Economies. Devitt-Lee A. e altri, in «SIAM Journal on Applied Mathematics», Vol. 78, n. 2, pp. 996-1008, marzo 2018.

The Affine Wealth Model: An Agent-Based Model of Asset Exchange That

Allows for Negative-Wealth Agents and Its Empirical Validation. Li J. e altri, in «Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications», Vol. 516, pp. 423-442, febbraio 2019.

Un'economia truccata. Stiglitz J.E., in «Le Scienze» n. 606, febbraio 2019.



*Australopithecus
anamensis*

Kate Wong è senior editor di «Scientific American» per i temi dell'evoluzione e dell'ecologia.



PALEOANTROPOLOGIA

Un volto dalle profondità del tempo

Un cranio fossile che si cercava da tempo potrebbe ridisegnare l'albero genealogico umano

di Kate Wong

Sono passati quasi 25 anni da quando gli scienziati hanno descritto le prime tracce fossili di *Australopithecus anamensis*, e oggi questo antenato degli esseri umani poco considerato sta finalmente vivendo il suo momento di notorietà. In Etiopia alcuni ricercatori hanno scoperto un cranio quasi completo di questo esponente del gruppo degli ominini, che include *Homo sapiens* e i suoi parenti prossimi estinti. Il fossile, che risale a 3,8 milioni di anni fa, rivela il volto mai visto prima di *A. anamensis*, una specie che finora era nota soprattutto da mandibole, denti e qualche osso al di sotto della testa. Tratti evidenti in questo nuovo reperto suggeriscono che potrebbe essere necessario rivedere il nostro albero genealogico.

Secondo una parte del mondo scientifico, *A. anamensis* è la specie più antica a far parte inequivocabilmente degli ominini, con fossili che risalgono addirittura a 4,2 milioni di anni fa. Per anni ha occupato una posizione chiave nell'albero genealogico in qualità di ascendente diretto di *Australopithecus afarensis*, ampiamente considerato l'antenato del nostro genere, *Homo*. In base alle età e alle caratteristiche dei fossili disponibili, i paleoantropologi ritenevano che *A. anamensis* avesse dato origine ad *A. afarensis* tramite un processo evolutivo chiamato anagenesi, in cui una specie si trasforma in un'altra, ma il nuovo fossile manda all'aria quella teoria.

Il cranio, scoperto da Yohannes Haile-Selassie, del Cleveland Museum of Natural History, e dai suoi colleghi in una zona dell'Etiopia nord-orientale chiamata Woranso-Mille, presenta denti e mandibole con caratteristiche che lo collegano ai resti frammentari già noti di *A. anamensis*. Il fossile ci mostra una creatura con una faccia sporgente, canini grandi, zigomi larghi, una cresta sul-

la testa che ancorava muscoli mandibolari forti e una scatola cranica lunga e stretta che conteneva un cervello grande come quello di uno scimpanzé. Il gruppo che lo ha scoperto ipotizza che il cranio appartenesse a un maschio adulto di *A. anamensis*.

Ed ecco perché potrebbe ribaltare la teoria comunemente accettata: sulla base dell'anatomia più completa di *A. anamensis* descritta a partire dal cranio appena trovato, Haile-Selassie e colleghi sostengono che un enigmatico osso frontale risalente a 3,9 milioni di anni fa e scoperto a Belohdelie, un altro sito fossilifero nella regione degli Afar, in Etiopia, appartenga ad *A. afarensis*. Se la loro ipotesi è corretta, allora in realtà *A. anamensis*, che conosciamo da fossili risalenti al periodo tra 4,2 e 3,8 milioni di anni fa, e *A. afarensis*, che a quanto pare visse tra 3,9 e 3,0 milioni di anni fa, convissero per almeno 100.000 anni nella regione degli Afar. E questa sovrapposizione significherebbe che *A. anamensis* non può essersi evoluto in *A. afarensis* per anagenesi. Invece, *A. afarensis* si separò da *A. anamensis*, che per un po' di tempo continuò a esistere con la specie figlia. Questo tipo di evoluzione per diramazione, chiamato cladogenesi, può verificarsi quando diverse popolazioni di una specie rimangono isolate l'una dall'altra e quindi possono evolversi in direzioni diverse.

Ma la tesi della cladogenesi dipende del tutto dal fatto che quell'osso frontale di 3,9 milioni di anni proveniente da Belohdelie è attribuito ad *A. afarensis*: nessuno degli altri resti di *A. afarensis* scoperti finora è altrettanto antico. Il problema è che, con un solo osso frontale di *A. anamensis* con cui confrontarlo (cioè quello del nuovo fossile), non si può escludere la possibilità che altri individui di *A. anamensis* potessero avere la fronte simile a quella di Belohdelie. Solo la scoperta di altri crani fossili potrà risolvere questo mistero. ■





TECNOLOGIA

I ragazzi stanno bene

Nuovi risultati scientifici suggeriscono che la preoccupazione per i social media sia ingiustificata, e che per capire gli effetti che hanno sul benessere dei giovani sia necessaria un'analisi più articolata

di Lydia Denworth

IN BREVE

L'ansia per gli effetti dei social media sui giovani ha raggiunto livelli così estremi che a volte dare uno smartphone a un bambino è paragonato a dargli un grammo di cocaina. La realtà però è assai meno allarmante.

Uno sguardo attento all'uso dei social media ci mostra che la maggior parte dei giovani che scrivono messaggi di testo e usano Instagram stanno bene. Un uso intenso può causare problemi, ma molti studi iniziali e titoli di giornali hanno esagerato i pericoli e omesso il contesto.

Oggi i ricercatori studiano questi punti di vista divergenti, cercano di capire i dettagli della situazione e sviluppano metodi migliori per misurare l'uso dei social media e delle tecnologie correlate e per capire se abbia un impatto significativo sulla salute mentale.

Illustrazioni di Mark Zingarelli

E

rano soprattutto i titoli a dare fastidio ad Amy Orben. Nel 2017, mentre studiava per il dottorato in psicologia sperimentale all'Università di Oxford e la sua ricerca si concentrava sull'influenza dei *social media* sulla comunicazione, sui giornali iniziavano a comparire articoli allarmisti. Dare uno *smartphone* a un bambino è come dargli cocaina, sosteneva uno. Gli *smartphone* hanno distrutto una generazione, affermava un altro.

Per Orben affermazioni così estreme non erano giustificate. A un certo punto aveva trascorso tutta una notte a rianalizzare i dati di uno studio che collegava il tempo passato davanti a uno schermo ad aumenti nei tassi di depressione e suicidio. «Mi resi conto che piccole modifiche nell'analisi dei dati portavano a cambiamenti enormi nei risultati dello studio», racconta Orben. «In realtà gli effetti erano minuscoli».

La ricercatrice pubblicò molti *post* in proposito sul suo blog, alcuni insieme ad Andrew K. Przybylski, suo collega all'Università di Oxford. «Affermazioni grandi richiedono grandi prove», scrisse in un'occasione. «Prove del genere però non esistono». In seguito decise di sostenere quella causa sul piano scientifico, e così cambiò argomento di ricerca. Con Przybylski decise di analizzare con rigore insieme di dati a grande scala usati ampiamente in studi sui *social media*.

I due ricercatori non erano gli unici a essere preoccupati. Qualche anno fa Jeff Hancock, psicologo e direttore del Social Media Lab della Stanford University, aveva impostato un avviso automatico che segnalava le citazioni di sue ricerche in lavori di altri scienziati, però le notifiche che si accumulavano nella sua casella di posta elettronica lo lasciavano perplesso. C'era uno studio su come Facebook rende le persone più ansiose, seguito da un altro su come i *social media* aumentano il capitale sociale delle persone. «Come mai ci sono tutte queste idee contrapposte tra di loro?», si era chiesto lo psicologo. Come era possibile che tutte citassero sue pubblicazioni a proprio sostegno? A quel punto decise di vederne chiaro, e così intraprese la più grande meta-analisi ottenuta finora riguardo agli effetti dei *social media* sul benessere psicologico. In definitiva, Hancock incluse 226 articoli e dati relativi a più di 275.000 persone.

Un po' di contesto

Ora i risultati delle ricerche di Orben, Przybylski e Hancock sono disponibili. Studi di questi e altri scienziati, pubblicati o presentati nel 2019, hanno fornito un po' di contesto alla questione riguardante gli effetti che le tecnologie digitali hanno davvero sulla nostra salute mentale e hanno presentato prove che chiariscono diversi aspetti. Finora i risultati erano misti perché gli effetti misurati erano a loro volta disomogenei. «L'uso dei *social media* è in buona sostanza uno scambio», afferma Hancock. «Si ottengono vantaggi molto piccoli ma significativi per il proprio benessere, che hanno costi molto piccoli ma statisticamente significativi».

Lydia Denworth scrive per «Scientific American» ed è autrice del libro *Friendship: The Evolution, Biology, and Extraordinary Power of Life's Fundamental Bond* (W. W. Norton).



L'accento è sulla parola «piccoli», almeno in termini di grandezza, o dimensione, dell'effetto (*effect size*), che valuta quanto due variabili siano collegate tra di loro. La meta-analisi di Hancock ha rivelato in generale una grandezza dell'effetto pari a 0,01 su una scala in cui 0,2 è già piccolo. Przybylski e Orben hanno misurato la percentuale di varianza nel benessere spiegata con l'uso dei *social media* e hanno scoperto che il calo di benessere negli adolescenti causato dalla tecnologia non era superiore a quello causato dal fatto di mangiare patate. Portare gli occhiali aveva addirittura effetti peggiori. «Il cattivo del momento è morto e sepolto», afferma Przybylski.

Inoltre, questi nuovi studi rivelano limiti e lacune serie nella scienza dei *social media* per come è stata portata avanti fino a oggi. L'80 per cento delle ricerche è stato di tipo trasversale (o *cross-sectional*, ovvero analizza singoli individui in uno specifico momento temporale) e di correlazione (ovvero collega due misurazioni, per esempio la frequenza dell'uso di Facebook e il livello di ansia, senza tuttavia dimostrare che una causi l'altra). La maggior parte delle ricerche si è affidata all'uso riferito dai soggetti, una misura notoriamente inaffidabile. Quasi tutti gli studi hanno considerato solo la frequenza oppure la durata dell'uso, non i contenuti o il contesto. «Poniamo le domande sbagliate», afferma Hancock. E i risultati sono regolarmente sopravvalutati, a volte dagli scienziati, spesso dai mezzi di comunicazione. «La ricerca sui *social media* è la tempesta perfetta che ci mostra dove sono tutti i problemi della nostra metodologia scientifica», confessa Orben. «In qualità di scienziati, tutto questo ci sfida a riflettere su come misuriamo le cose e su quale misura di grandezza degli effetti consideriamo rilevante».

Per essere chiari: il punto non è che i *social media* non siano mai un problema. Un uso intenso è associato a effetti potenzialmente dannosi per il benessere. Tuttavia, gli effetti dei *social media* sembrano dipendere dall'utente: età e condizioni di salute mentale sono due fattori importanti che fanno la differenza. Inoltre, a quanto pare causa ed effetto vanno in entrambe le direzioni. «È una strada a doppio senso», conferma Hancock.

La speranza è che il settore usi questi nuovi risultati per dare il via a una nuova scienza dei *social media* che si ponga standard più esigenti per l'analisi statistica, eviti dichiarazioni assurde e includa più studi sperimentali e longitudinali, che accompagnano i soggetti in diversi momenti nel corso del tempo. «Non vogliamo essere il campo della scienza che afferma che mangiare patate ha

distrutto una generazione», afferma la neuropsicologa clinica Tracy Dennis-Tiwary, dell'Hunter College di New York. «Nonostante le preoccupazioni, dobbiamo unire le forze e comportarci da scienziati. È necessario avere prove adeguate».

Paura della tecnologia

Ansia e panico per gli effetti delle nuove tecnologie risalgono a Socrate, che si lamentava di quella che ai suoi tempi era una nuova tradizione, scrivere le cose, perché temeva che avrebbe ridotto le capacità di memoria. Thomas Hobbes e Thomas Jefferson preannunciavano che le relazioni di comunità avrebbero sofferto nel passaggio della società industriale dalle aree rurali a quelle urbane. «Prima di odiare gli smartphone, odiavamo le città», scrivono i sociologi Keith Hampton, della Michigan State University, e Barry Wellman, del NetLab Network di Toronto, che studiano gli effetti delle innovazioni tecnologiche. Radio, videogiochi e addirittura fumetti hanno causato sgomento in passato, e quando è arrivata la televisione si temeva che avrebbe reso le persone più stupide.

Nonostante ciò, il cambiamento portato da telefoni cellulari, Internet e *social network* ci sembra epocale. I cellulari hanno iniziato a diffondersi in modo generalizzato negli anni novanta; nel 2018 erano usati dal 95 per cento degli statunitensi adulti [in Italia il 91 per cento, N.d.R.]. Gli smartphone, che aggiungevano la possibilità di accesso istantaneo a Internet, sono stati sdoganati con l'introduzione dell'iPhone nel 2007; ora li hanno i tre quarti degli statunitensi adulti [in Italia il 71 per cento, N.d.R.] e l'89 per cento degli stessi adulti usa Internet [in Italia il 69 per cento, N.d.R.]. Il digitale in tutte le sue forme arriva quasi alla copertura totale tra gli adolescenti, tra gli adulti sotto i 50 anni e nelle famiglie con

Studi come il mio degli inizi considererebbero queste due attività come equivalenti».

Molti ricercatori sono stati assai critici nei confronti dei lavori di Jean M. Twenge, psicologa della San Diego State University. Oltre agli articoli di ricerca, Twenge ha scritto un articolo divulgativo, pubblicato su «The Atlantic» nel 2017 e basato sul suo libro *Iperconnessioni* (Einaudi, 2018), in cui poneva la fatidica domanda: «È vero che gli smartphone hanno distrutto una generazione?». Twenge non è l'unica ad aver pubblicato risultati negativi a proposito dell'uso dei social media, ma il clamore generato da quell'articolo l'ha resa una delle più note. La ricercatrice indica un netto aumento nei problemi di salute mentale nei ragazzi nati tra il 1995 e il 2012, e scrive che «si può far risalire gran parte di questo peggioramento ai telefonini». Il suo lavoro accosta l'aumento nei tassi di depressione e di ansia tra i giovani al proliferare degli smartphone nello stesso periodo. Twenge ammette che si tratta di una correlazione, ma sostiene che la sua conclusione rappresenti «una sequenza logica di eventi» basata sulle prove e che sia opportuno essere cauti: «Quando parliamo della salute di bambini e ragazzi, mi sembra che sia meglio peccare per eccesso di cautela».

Nessuno intende contraddirla sull'importanza della salute dei giovani, ma c'è chi pensa che Twenge si sia lasciata prendere la mano. «Perché attendere la prova di una relazione causale?», chiede Dennis-Tiwary. Perché forse le cose non sono così semplici, risponde, riferendosi a uno studio longitudinale pubblicato da ricercatori canadesi in risposta a un articolo di Twenge. Il gruppo ha studiato quasi 600 adolescenti e oltre 1000 giovani adulti nel corso rispettivamente di due e di sei anni, e hanno scoperto che l'uso dei social media non aveva valore predittivo per i sintomi de-

pressivi, ma i sintomi depressivi avevano valore predittivo per una maggiore frequenza nell'uso dei social media tra le ragazze adolescenti. «La questione è molto più articolata», afferma Dennis-Tiwary. «Sappiamo che un uso proble-

matico dello smartphone potrebbe essere tanto un effetto quanto una causa dei problemi di salute mentale, quindi servono soluzioni diverse».

Gli studi di correlazione hanno la loro utilità, un po' come la ricerca epidemiologica che può suggerire il collegamento tra inquinamento e aumento del cancro quando non è possibile eseguire uno studio controllato randomizzato. Matthew Gentzkow, economista di Stanford che si dedica alla ricerca sui social media, ritiene che sia importante non sopravvalutare i risultati, ma a proposito dei lavori di Twenge afferma che «contengono dati di fatto notevoli. Non ci dicono se gli smartphone causino problemi di salute mentale, ma fanno luce sul fatto che possa essere così. Ora dobbiamo metterci d'impegno e cercare di portare avanti studi più precisi per isolare quello che sta succedendo davvero».

Una strada a doppio senso?

È proprio quello che vogliono fare gli studi più recenti. La meta-analisi di Hancock ha evidenziato che molti studi sui social media e sul benessere psicologico non misuravano gli stessi risultati. In genere gli effetti rientravano in sei categorie. Tre sono relative a indicatori positivi di benessere: felicità eudaimonica (avere un senso di significato), felicità edonica (la gioia nel momento) e relazioni. E tre sono negative: depressione, ansia e senso di solitudine. Hancock e il suo gruppo di ricerca hanno scoperto che un maggiore uso dei social media era leggermente associato a un au-

La scienza dei social media deve darsi standard più esigenti per l'analisi statistica

reddito più elevato. A non farne uso sono soprattutto le persone sopra i 65 anni, i poveri e i residenti in aree rurali o in altri luoghi dove la copertura di rete è limitata. Tra il 2005, quando il Pew Research Center ha iniziato a monitorare l'uso dei social media, e il 2019, la percentuale di statunitensi che li usano per comunicare, tenersi aggiornati sulle notizie, condividere informazioni e divertirsi è passata dal 5 al 72 per cento, cioè da 1 adulto su 20 si è passati a 7 adulti su 10.

Dato che i social media sono un fenomeno così nuovo, è nuova anche la ricerca che li studia. Il primo studio trovato da Hancock che esaminava l'uso dei social media e il benessere psicologico risale al 2006. Non sorprende che i primi approcci fossero limitati. Brian Primack, il medico che dirigeva il Center for Research on Media, Technology and Health all'Università di Pittsburgh prima di trasferirsi all'Università dell'Arkansas nel 2019, paragona il campo alle prime ricerche sulla nutrizione: «Ci è voluto un po' prima che si iniziasse a dire: "Separiamo i grassi dalle proteine e dai carboidrati, e non solo, separiamo anche gli acidi grassi trans dai grassi poli-insaturi"», spiega. «Per chiunque faccia buona ricerca è importante adattarsi a quello che succede». Primack indica i suoi primi lavori, per esempio studi che guardavano solo all'uso totale dei social media, come esempi di quello che non è più all'altezza. «Tu magari passi due ore al giorno a mettere *like* su fotografie di cuccioli adorabili, mentre io passo due ore al giorno impegnato in scontri violenti su politica, religione e altri argomenti controversi.

mento della depressione e dell'ansia (ma non del senso di solitudine) ed era associato in modo più forte con i benefici delle relazioni (ma non con il benessere eudaimonico o edonico). L'effetto più rilevante, a 0,20, era il beneficio di relazioni più forti. Lo psicologo ha anche scoperto che un uso attivo invece che passivo aveva un'associazione positiva con il benessere. Per inciso, non ha rilevato alcun effetto per l'uso passivo, benché altri ricercatori ne abbiano trovato uno negativo.

Ed era rilevante anche il modo in cui i ricercatori ponevano le domande. Porre la questione in termini di «dipendenza» invece che in modo più neutro rende più probabile un risultato negativo. In tutta la letteratura sull'argomento c'erano solo 24 studi longitudinali, il metodo che è considerato lo standard di riferimento della psicologia e che permette di confrontare il rapporto tra benessere e uso dei social media in due punti temporali diversi e di valutare statisticamente quale variabile causi il cambiamento tra i due. In questi studi il gruppo di Hancock ha trovato un altro risultato piccolo ma interessante: «Quando il livello di benessere è più alto, si usano di meno i social media, il che suggerisce che il benessere influisce in qualche misura su quanto si usino», sostiene Hancock.

In tre articoli sull'uso della tecnologia tra gli adolescenti, Orben e Przybylski hanno affrontato tre grandi problematiche che avevano identificato nelle precedenti analisi sui insiemi di dati di grandi dimensioni. Il primo articolo, pubblicato nel gennaio 2019 su «Nature Human Behaviour», ha definito il contesto e ha presentato un metodo per migliorare la trasparenza. Includeva tre insiemi di dati relativi agli Stati Uniti e all'Europa, su oltre 350.000 adolescenti. Questi insiemi di dati sono preziosi, ma rendono facile ottenere risultati statisticamente significativi che possono non aver valore a livello pratico. Przybylski e Orben hanno calcolato che con le procedure standard della statistica avrebbero potuto produrre circa 10.000 articoli che dimostravano che il tempo passato davanti allo schermo aveva effetti negativi, 5000 in cui non era indicato alcun effetto e altri 4000 che dimostravano effetti positivi della tecnologia sui giovani, il tutto a partire dagli stessi insiemi di dati.

Per la nuova analisi hanno usato una tecnica chiamata *specification curve analysis*, che esamina contemporaneamente l'intera gamma delle correlazioni possibili. È l'equivalente per la statistica del guardare gli alberi e vedere la foresta. Analizzato in questo modo, l'uso delle tecnologie digitali era associato solo allo 0,4 per cento nella variazione del benessere degli adolescenti. La ricchezza di informazioni nei dati permetteva i famosi paragoni con patate e occhiali; inoltre rivelava che uso di marijuana e bullismo avevano associazioni negative molto più rilevanti con il benessere (rispettivamente 2,7 e 4,3 volte peggiori rispetto alla media dei dati), mentre comportamenti positivi come dormire abbastanza o fare regolarmente colazione avevano una correlazione molto più forte con il benessere rispetto all'uso della tecnologia. «Stiamo cercando di allontanarci dall'idea di scegliere selettivamente un risultato, per muoverci verso una visione più olistica», dice Przybylski. «Un elemento fondamentale per farlo è inserire questi effetti estremamente piccoli degli schermi sui giovani nel contesto del mondo reale». Per inciso, Twenge e altri mettono in dubbio l'utilità di spiegare le percentuali di variazione e sostengono che si tratta sempre di numeri piccoli che potrebbero nascondere effetti pratici.

Il secondo articolo, pubblicato ad aprile 2019 su «Psychological Science», include metodi più rigorosi per misurare il tempo passa-

to davanti allo schermo. I ricercatori hanno usato tre insiemi di dati relativi a Stati Uniti, Regno Unito e Irlanda, che includevano diari sull'uso del tempo, dati dichiarati sull'uso dei media e misurazioni del benessere. Per cinque anni, gli oltre 17.000 adolescenti coinvolti negli studi ricevevano un diario un giorno all'anno e per tutto il giorno, in segmenti di 10-15 minuti, lo compilavano scrivendo quello che stavano facendo, compreso l'uso di dispositivi digitali. Quando Orben e Przybylski hanno applicato ai dati il loro metodo statistico hanno trovato poche prove di un'associazione negativa sostanziale tra l'uso del digitale e il benessere. I diari hanno permesso di vedere anche in quali momenti del giorno gli adolescenti usavano i media digitali, per esempio prima di andare a dormire. Anche questa componente non aveva effetto sul benessere, sebbene i ricercatori non abbiano considerato come risultato le ore di sonno, ma solo misurazioni psicologiche più generali.

Infine, a maggio 2019, con lo psicologo Tobias Dienlin dell'Università di Hohenheim, in Germania, Orben e Przybylski hanno pubblicato sui «Proceedings of the National Academy of Sciences» un articolo che includeva i dati di uno studio longitudinale per analizzare gli effetti dei social media sul livello di soddisfazione nella vita degli adolescenti nel corso del tempo. Questo approccio ha permesso loro di chiedersi se in media gli adolescenti che passano più tempo sui social media durante un anno si sentano meglio o

Il vero pericolo alla fine non sono gli smartphone, ma il livello di disinformazione diretta ai genitori

peggio alla fine dell'anno, e se il fatto di sentirsi meglio o peggio influenzi l'uso dei social media nell'anno successivo. Anche qui il risultato è stato limitato e ricco di sfumature. «I cambiamenti nell'uso dei social media nel corso di un anno prevedono solo lo 0,25 per cento circa della varianza nel cambiamento della soddisfazione nella vita sull'anno», spiega Orben. «Parliamo di cambiamenti pari a frazioni inferiori all'1 per cento». Invece hanno scoperto effetti leggermente più forti nelle ragazze che nei ragazzi, un elemento che Orben vuole indagare a fondo. Sarà importante anche la questione del rischio individuale. «Vogliamo capire se ci sono profili riproducibili di giovani più o meno vulnerabili o resilienti alle diverse forme di tecnologia», spiega Przybylski.

E la generazione Z?

L'uso dei media da parte degli adolescenti è una preoccupazione assai sentita a causa dell'onnipresenza degli smartphone e del fatto che l'adolescenza è un periodo di sviluppo particolarmente formativo. Per capire di che cosa preoccuparsi, i genitori seguono la guida degli scienziati, afferma la psicologa Candice Odgers, dell'Università della California a Irvine. Si preoccupano soprattutto di quanto tempo i figli passano *on line*, senza prestare altrettanta attenzione alla domanda fondamentale, cioè che cosa facciano quando sono *on line*. La ricerca di Odgers suggerisce che il problema non sia la quantità di tempo. In uno studio pubblicato nell'estate 2019 su «Clinical Psychological Science» Odgers, con Micheline Jensen dell'Università del North Carolina a Greensboro e colleghi, hanno seguito quasi 400 adolescenti per due settimane, inviando domande sui loro cellulari tre volte al giorno. Lo studio era stato progettato per permettere ai ricercatori di confrontare i sintomi legati alla salute mentale e l'immersione nella tecnologia, sul singolo giorno e anche su tutto il periodo di due settimane.



L'uso dei media era associato con il benessere individuale degli adolescenti? Non proprio. Le routine in essere all'inizio dello studio non avevano valore predittivo per i sintomi legati alla salute mentale apparsi in seguito, e la salute mentale non era peggiore nelle giornate in cui gli adolescenti riferivano di aver passato più o meno tempo sui dispositivi tecnologici.

«È ironico che alla fine il pericolo vero non siano gli smartphone, ma il livello di disinformazione diretta al pubblico e ai genitori», dice Odgers. «La disinformazione occupa così tanto spazio nel dibattito che potrebbe farci mancare alcuni problemi e pericoli reali legati agli spazi digitali». Per quanto la riguarda, Odgers è più preoccupata per la *privacy* e le disuguaglianze nell'accesso alla tecnologia per i ragazzi provenienti da famiglie di livello socioeconomico più basso. Sospetta anche che alcuni adolescenti trovino on line un sostegno di cui hanno bisogno e che gli adulti dovrebbero prestare più attenzione a ciò che funziona in questo senso.

Social media 2.0

Questi studi sono solo l'inizio. Hanno contribuito a rendere più chiara l'immagine d'insieme riguardo all'uso dei social media, ma c'è ancora molto altro da fare. Per capire i dettagli, la varietà nelle tipologie di ricerca è di aiuto. In uno studio sperimentale recente, per esempio, Gentzkow ha chiesto a più di 1600 persone di disattivare l'*account* Facebook e ha verificato elettronicamente che lo facessero davvero. L'economista e i suoi colleghi hanno scoperto con stupore che l'uso di altre tecnologie sostitutive diminuiva, invece di aumentare. «Le persone si accorgono di passare meno tempo su tutti i dispositivi», afferma Gentzkow. Però la grandezza dell'effetto era ridotta, e nascondeva una grande variazione individuale: alcuni partecipanti apprezzavano la pausa, mentre altri sentivano molto la mancanza della loro cerchia sociale on line.

«Facebook genera un grande valore aggiunto per le persone, ma comunque lo si usa più di quanto sia ottimale», aggiunge Gentzkow. «Ci sono molte persone che potrebbero stare meglio ed essere più felici se ne riducessero l'uso».

Diversi ricercatori provano a misurare meglio il tempo passato davanti a uno schermo. Byron Reeves, ricercatore di Stanford nel campo della comunicazione, ha sviluppato assieme ad alcuni colleghi una tecnica chiamata *Screenomics*, che cattura l'immagine dello schermo dei telefoni ogni cinque secondi (dopo aver ottenuto l'autorizzazione). Anche le imprese tecnologiche possono fare qualcosa: le grandi aziende possono misurare meglio degli scienziati quanto tempo i singoli trascorrono impegnati in diverse attività, ma considerano queste informazioni riservate; inoltre bisogna considerare la questione della *privacy* degli utenti. Przybylski cerca di far cambiare questa politica. «Le aziende non dovrebbero potersela cavare così», afferma.

I nuovi studi cercano anche di prevedere meglio la variazione individuale. Nel laboratorio di Hancock, la laureanda Angela Lee ha sviluppato un metodo creativo e ha applicato l'idea della mentalità (le credenze che plasmano la realtà delle persone) ai social media. Con interviste, Lee ha scoperto che la visione dei social media rientrava in due ambiti generali: se la persona ritiene che le facciano bene o male (valenza) e se ritiene o meno di averne il

controllo (agentività). In tre studi, Lee e Hancock hanno esaminato quasi 700 persone e hanno scoperto che la mentalità dei soggetti aveva valore predittivo in termini di benessere. Un senso di agentività aveva l'effetto più forte. «Più sei convinto di avere il controllo dei tuoi social media, più sostegno sociale hai, meno depressione riferisci, meno stress, meno ansia sociale, indipendentemente da quanto dici effettivamente di usare i social media», spiega Lee, oggi dottoranda di Hancock, che ha presentato il lavoro a maggio 2019 al convegno dell'Association for Psychological Science.

La forza della mentalità serve a ricordarci la forza della prospettiva. Negli anni ottanta ci si strappava i capelli per il tempo che i ragazzi passavano senza pensare davanti allo schermo della televisione, dice Gentzkow, che ha studiato quel periodo. L'economista immagina se avesse potuto chiedere alle persone che all'epoca si preoccupavano così tanto che cosa ne pensassero di nuove tecnologie che invece avrebbero permesso ai ragazzi di interagire tra loro mandandosi messaggi, fotografie e video. «Chiunque avrebbe risposto: "Sarebbe una cosa meravigliosa"».

PER APPROFONDIRE

Has the Smartphone Destroyed a Generation? Twenge J.M., in «The Atlantic», Vol. 320, pp. 58-65, settembre 2017.

The Association between Adolescent Well-Being and Digital Technology Use. Orben A. e Przybylski A.K., in «Nature Human Behaviour», Vol. 3, n. 2, pp. 173-182, febbraio 2019.

Screens, Teens, and Psychological Well-Being: Evidence from Three Time-Use- Diary Studies. Orben A. e Przybylski A.K., in «Psychological Science», Vol. 30, n. 5, pp. 682-696, maggio 2019.

Gli smartphone stanno distruggendo il cervello degli adolescenti? Flora C., in «Le Scienze» n. 596, aprile 2018.



I biologi stanno facendo a gara per registrare nuove specie in tutta la Colombia e usano i dati raccolti per consigliare politiche economiche che sostengano la biodiversità, anziché distruggerla.



SOSTENIBILITÀ

Conservare l'ambiente dopo un conflitto

Dopo cinquant'anni di guerriglia, ora la Colombia vuole creare un'economia basata sulla propria biodiversità

di Rachel Nisner

Rachel Nuwer è una giornalista *freelance*, autrice di *Poached: Inside the Dark World of Wildlife Trafficking* (Da Capo Press, 2018). Vive a Brooklyn, nella città di New York.



Per tutta la giornata, grosse nuvole viola si erano accumulate nel cielo sopra Cubará, sollevando un vento polveroso e ammantando di ombra e nebbiolina le colline ricoperte di vegetazione. Quando, finalmente, la pioggia arrivò, fu uno scroscio torrenziale che martellò i tetti di metallo, fece traboccare gli argini e trasformò le strade in fiumi. Un gruppo di biologi appena arrivati da Bogotá poteva fare ben poco, se non accalcarsi sotto un portico nell'attesa di compiere la sua missione: trovare e documentare il maggior numero possibile di specie di uccelli.

Era dal 1961 che non veniva intrapresa un'indagine di questo tipo in questa remota cittadina del nord-est della Colombia, principalmente perché, fino a pochi anni fa, sarebbe stato troppo pericoloso.

Cubará si trova al centro di una famigerata zona proibita, un'area nota per i frequenti scontri tra guerriglieri, paramilitari ed esercito colombiano. Nel 2016 il governo ha firmato un accordo di cessate il fuoco con le Forze armate rivoluzionarie colombiane (FARC), il più grande gruppo di ribelli della nazione, mettendo fine al conflitto più lungo dell'emisfero occidentale. Per quanto non si sentano più gli spari, i ricordi della violenza sono ancora in prima linea nella mente di molte persone. Il vice-sindaco di Cubará, accogliendomi, ha commentato: «Congratulazioni per essere venuta fin qui. La nostra terra è visitata solo da pochissime persone, perché hanno tutti paura».

Con l'instaurarsi di questa fragile situazione di pace, Cubará – e, come lei, migliaia di altre città colombiane – sta lentamente ritornando a vivere. La fine del conflitto ha segnato un nuovo inizio non solo per le comunità, ansiose di ricostruire, ma anche per gli scienziati dell'Istituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, un ente no-profit indipendente che spera di poter finalmente fare il punto sull'incredibile storia naturale del paese. Racchiusa tra due continenti e due oceani e attraversata sia dall'equatore sia dalle Ande, la Colombia ospita 311 zone ecologiche diverse, dalle foreste pluviali alle montagne,

dalle distese di mangrovie alle barriere coralline. Qui, i ricercatori hanno già documentato quasi 63.000 specie: un incredibile 10 per cento della biodiversità globale. Solo il Brasile ha più specie della Colombia, ed è oltre sette volte più esteso.

Questa abbondanza era evidente anche mentre il gruppo di biologi si stava riparando dalla pioggia. Dei tiranni tropicali svolazzavano attorno a un lampione, mentre alcune chioccioline giganti africane (della specie invasiva *Achatina fulica*) avanzavano lentamente sotto il portico. Un coleottero grande come una mano umana si muoveva in tutta fretta, probabilmente alla ricerca di un compagno, mentre un rospo delle dimensioni di un pompelmo cenava leccando un nugolo di termiti. Una strana creatura a forma di verme che il biologo Orlando Acevedo-Charry aveva agguantato nell'acqua che scorreva lungo la strada allagata si rivelò essere, anziché un serpente o un anfibio apodo (come lo scienziato aveva ipotizzato inizialmente), un pesce della specie *Synbranchus marmoratus*.

È probabile che molte altre specie siano ancora in attesa di essere scoperte. In nove grandi spedizioni condotte in tutto il paese dal 2015, gli scienziati hanno documentato centinaia di piante, animali e funghi, decine e decine dei quali apparentemente non sono mai stati osservati prima dalla scienza; tra questi, una razza d'acqua dolce con macchie a pallini simili a quelle del leopardo, una strana spugna che si avvolge attorno ai rami delle mangrovie come un nido di insetti e un pesce senza occhi. «Ci pensi? Siamo

IN BREVE

La Colombia ha una biodiversità tra le più alte al mondo. Cinquant'anni di conflitto, però, hanno bloccato la ricerca sul campo, lasciando languire la scienza. Un accordo di pace del 2016 ha aperto aree un tempo inaccessibili, e i biologi fanno a gara per catalogare nuove specie.

Gli scienziati dell'Istituto Humboldt sono in una posizione privilegiata per indicare come la preservazione della ricchezza della biodiversità colombiana possa essere una delle basi principali di un'economia sostenibile: stanno consigliando il governo su come agire politicamente.

La pace sta anche portando a una rapida deforestazione. Gli scienziati dell'Istituto Humboldt si stanno affrettando a promuovere un'economia basata su attività come l'agroforestazione e l'ecoturismo, che aiutano le aree rurali a ristabilirsi e a crescere senza distruggere l'ambiente.



Gli scienziati stanno collaborando con esperti locali come Saul Sanchez (1, 2) per studiare la diversità dell'avifauna e sviluppare l'ecoturismo. Un'altra ricercatrice raccoglie i versi degli uccelli con un microfono a parabola (3).

nel 2018 e stiamo ancora scoprendo che cosa abbiamo!», commenta Gisele Didier Lopez, a capo dell'unità di sviluppo dell'istituto. «Mi fa venire la pelle d'oca, tipo, "Oddio, questa cosa era qui e non ne avevamo idea!"».

Il tempo di pace, tuttavia, proprio mentre riapre all'esplorazione luoghi come Cubará, contemporaneamente lascia spazio allo sviluppo. Nuove strade vengono costruite, i terreni sono ripuliti e le foreste stanno scomparendo. «Il tasso di cambiamento del paesaggio è superiore alla nostra capacità di fare ricerca», sostiene Acevedo-Charry, curatore della collezione dei suoni ambientali dell'Humboldt. «Se non cataloghiamo la biodiversità velocemente e con continuità in tutta la Colombia, la perderemo ancora prima di sapere che cosa abbiamo bisogno di proteggere».

Acevedo-Charry, Didier e i loro colleghi dell'istituto non si limitano a essere in prima linea negli sforzi volti a scoprire la portata della biodiversità colombiana: sono anche alla ricerca di modi di trasformarla nel centro nevralgico di una società retta dalla sostenibilità, dalla resilienza e da un'economia verde. «Non si tratta del classico approccio alla biodiversità, in cui è "vietato toccare" ogni cosa – aggiunge Didier – vogliamo usare la biodiversità come ingrediente della ricetta per lo sviluppo economico, ma senza distruggerla». L'obiettivo finale, conclude, è «rendere la biodiversità una risorsa di punta nel percorso di sviluppo».

Dal 2016, i 123 esperti dell'istituto, insieme ad altri scienziati e organizzazioni no-profit colombiane e internazionali, hanno lavo-

rato freneticamente per mettere a punto la loro visione di come potrebbe essere una Colombia "verde", e per creare un piano d'azione che la trasformi in realtà. Didier e colleghi potrebbero trovarsi proprio nell'unico posto adatto per riuscirci. L'istituto, finanziato per metà da fondi governativi e per l'altra metà grazie ad attività di *fundraising*, è incaricato per legge di studiare e diffondere informazioni sulla biodiversità della Colombia. La sua missione va al di là della catalogazione: il personale è anche tenuto a dedicarsi ad attività di scienza applicata che informino le decisioni politiche e, in ultima analisi, siano volte a colmare il divario tra società e governo. Diego José Lizcano, specialista della biodiversità dell'organizzazione ambientalista The Nature Conservancy, spiega come, dal momento che l'istituto è direttamente collegato al governo, i funzionari prendono i suoi risultati più sul serio rispetto a quelli ottenuti dalle organizzazioni non governative e dai ricercatori universitari.

Con la Colombia che si affretta verso uno sviluppo postbellico, si sta velocemente chiudendo la finestra per realizzare un futuro roseo in cui la biodiversità sia molto apprezzata e, insieme, capitalizzata in modo sostenibile. Nonostante la relativa influenza dell'istituto, secondo alcuni osservatori l'ambiente continua a essere in basso nella lista delle priorità del governo e la deforestazione continua a devastare gran parte della nazione. Didier descrive questo percorso come «posizionare una ruspa e abbattere tutto quello che le sta davanti. Ci stiamo giocando tutto».

Che oggi, in Colombia, siano rimasti ancora così tanti habitat, animali e piante selvatiche è, in parte, un effetto collaterale fortuito e fortunato del conflitto. Ufficialmente la guerra civile scoppiò nel 1964, quando dei membri della classe contadina, gruppo composto principalmente da piccoli agricoltori, minatori e lavoratori rurali, insorsero per combattere le enormi disuguaglianze e formarono le FARC. Cinquant'anni di combattimenti non hanno congelato soltanto le esplorazioni ecologiche ma, in alcuni luoghi, anche la distruzione ambientale.

Milioni di residenti nelle zone rurali fuggirono dalla campagna per rifugiarsi nelle città, dando alla natura il tempo di riprendersi ciò che le apparteneva. I ribelli ordinavano ai residenti rimasti di tenersi alla larga da certi tratti di foresta, vietando di cacciare e abbattere gli alberi. Quella che era incominciata come una lotta ideologica a favore di un governo marxista-leninista si trasformò in un conflitto in gran parte alimentato dal profitto, e soprattutto dai narcotici. Campi coltivati a coca e laboratori per produrre la cocaina spuntarono al fianco degli accampamenti nelle foreste. «Per i guerriglieri era un vantaggio avere una foresta in cui nascondersi, e le altre persone non osavano avvicinarsi», spiega Didier. «Come risultato, nei punti più caldi del conflitto la biodiversità è rimasta alta».

Alla diffusione del traffico di narcotici seguì la violenza. Qualsiasi scienziato che osasse avventurarsi nelle aree controllate dai ribelli lo faceva a rischio della propria vita. Oggi, nel paese, quasi ogni ricercatore sul campo sembra che abbia da raccontare una storia su un rapimento, un interrogatorio con i fucili puntati o altri modi per tenerlo lontano dai luoghi di studio. «Dieci anni fa, la cosa più pericolosa in cui ti potevi imbattere sul campo era una persona», dice Lizcano, tenuto in ostaggio per due giorni da ribelli che lo rapirono mentre cercava tapiri. Lizcano continuò poi il proprio lavoro in un altro luogo, ma altri studi furono abbandonati o nemmeno iniziati, e molti ricercatori scelsero di lasciare la Colombia o cambiare professione. La conoscenza ecologica languiva.

La speranza di un'inversione di tendenza venne da una delle quasi 600 condizioni dell'accordo di pace del 2016: la nazione deve svilupparsi in modo sostenibile per migliorare la vita di tutti i colombiani, non solo i cittadini, che costituiscono almeno i tre quarti della popolazione. Questo punto era inteso soprattutto per placare lo scontento caratteristico delle zone rurali da cui era inizialmente scaturito il conflitto e promette ai residenti delle campagne più marginali – molti dei quali sono membri dei 112 gruppi etnici di minoranza della Colombia – accesso all'istruzione e all'ac-

I punti caldi della Colombia



Con 311 zone ecologiche diverse, la Colombia è un concentrato di biodiversità: qui si trova il 10 per cento di tutte le specie della Terra. Dopo 50 anni di guerra civile, gli scienziati fanno a gara per documentare e preservare il patrimonio naturalistico colombiano. La pace, però, significa anche che la deforestazione è in aumento, via via che i territori prima occupati dai ribelli si aprono all'estrazione mineraria, alla raccolta del legname e ai reinsediamenti. Nel paese, dei nove punti più critici per il disboscamento, cinque sono situati nel bacino amazzonico.



qua potabile, sussidi per programmi di sviluppo in territori prima controllati dai ribelli e nuove strade per connettere le loro comunità al resto del paese. In aggiunta, incoraggia i coltivatori illegali di coca a passare a colture legali, in cambio di pagamenti in denaro e assistenza governativa.

«Dato che molti dei nostri problemi vengono da una carenza, nelle aree rurali, di mezzi di sostentamento, istruzione e cure sanitarie migliori, questo punto per me è stato il più importante dell'accordo», commenta Julia Miranda Londoño, direttrice del Sistema de Parques Nacionales Naturales della Colombia. «Se il nostro sviluppo fosse più equo, le persone non avrebbero bisogno di cercare altri modi per sopravvivere come coltivare la coca o partecipare ad attività minerarie illegali».

Nonostante gli scienziati dell'Istituto Humboldt e altri ricercatori credano che la biodiversità possa avere un ruolo centrale in



Uvaldino Villamizar (1) coltiva il cacao usando pratiche tipiche dell'agroforestazione. Questi metodi sostenibili aiutano a preservare la ricca biodiversità della Colombia, che comprende specie scoperte negli ultimi anni (2, 3, 4).

questo sviluppo equo, la questione è come farlo diventare realtà in un'intera nazione. I colombiani non vogliono che al loro paese capiti quello che è successo a San Martín, in Perù: una regione in cui, dopo la fine di un conflitto, lo sviluppo è stato veloce, ma che, come risultato, oggi è completamente disboscata e spesso soffre di gravi incendi, frane e allagamenti. Non possono nemmeno basare i propri piani interamente su esempi positivi di conservazione ambientale di paesi come Costa Rica o Ruanda, entrambi molto più piccoli della Colombia e non devastati da cinquant'anni di guerra. I paesi nordici sono ottimi esempi di uso delle energie rinnovabili e delle risorse naturali ma, a differenza della Colombia, le loro economie sono tra le più forti al mondo, con tutti i vantaggi che ne seguono.

Per questi motivi, la Colombia pensa di costruirsi un proprio percorso, sotto la guida del Departamento Nacional de Planeación e il sostegno dei propri scienziati. Oltre a far sviluppare una florida industria dell'ecoturismo, ci sono diverse altre idee per favorire questa nuova bioeconomia; per esempio aiutare le comunità indigene e rurali a trarre vantaggio dalle bioprospezioni – la ricerca di specie vegetali e animali medicinali, commestibili o con altri sbocchi commerciali – oppure usare la tecnologia per potenziare la produzione acquicola (da acquacoltura) e migliorare il riciclaggio dei rifiuti, oggi quasi inesistente nella regione. Il Ministero dell'economia sta valutando una legge che amplierebbe l'estensione della tassa sulle emissioni di carbonio (attualmente applicata

a sei combustibili liquidi) fino a includere carbone e gas. Il governo intende anche costituire il primo parco di impianti di produzione di energia rinnovabile grazie a una speciale *task force* dedicata alla transizione energetica.

L'obiettivo principale è la riforma dell'agricoltura colombiana, un settore destinato ad aumentare del 2,5 per cento annuo, e ad accrescere l'uso dei terreni del 44 per cento nei prossimi 15 anni. «Il modo in cui usiamo la nostra terra è molto, molto distruttivo», dice Brigitte Luis Guillermo Baptiste, che ha diretto l'Istituto Humboldt per dieci anni prima di diventare, a settembre, rettrice dell'Università EAN di Bogotá. Gli allevatori radono al suolo le foreste per far pascolare appena quattro o cinque mucche per ettaro. I sistemi di irrigazione sono terribilmente datati e dispersivi, come riconoscono persino gli stessi produttori, secondo Baptiste. E l'uso di pesticidi è tra i più alti al mondo, con il risultato di avvelenare i contadini e contaminare l'ambiente.

Un'alternativa, secondo Baptiste e colleghi, è costituita dall'agroforestazione, che in Colombia potrebbe diventare molto rilevante. Questo metodo agricolo include il bestiame e i raccolti nelle foreste, al posto di tagliare gli alberi, e così facendo porta vantaggi come l'approvvigionamento idrico e la mitigazione di siccità e inondazioni. L'allevamento occupa circa il 70 per cento dei terreni agricoli della Colombia, ma la nazione è anche il terzo produttore mondiale di caffè, il quarto di olio di palma e uno dei principali esportatori di cacao, usato per fare il cioccolato. Se l'agroforesta-

zione fosse adottata in tutto il paese, le future foreste colombiane non si limiterebbero a essere isole di biodiversità che punteggiano un paesaggio per il resto dominato dall'uomo, ma diventerebbero una matrice interconnessa di ambienti naturali, sostenuta dai proprietari terrieri.

A Cubará, buona parte della strada che porta in città è costeggiata da terreni brulli, disboscata, dove il bestiame pascola a fianco dei ceppi. Come in molte aree rurali della Colombia, il passaggio all'agroforestazione sta avvenendo lentamente, anche se qui è spinto soprattutto da movimenti popolari, che non aspettano che il governo prenda in mano la situazione. Quando gli agricoltori biologici Monica e Uvaldino Villamizar decisero di espandersi e di coltivare cacao per usi commerciali, nel 2006, progettarono i campi in modo da ospitare circa 20 specie di alberi. Seguendo le informazioni fornite dalla Federación Nacional de Cacaoteos, lasciarono che la loro proprietà continuasse a ospitare una fitta vegetazione e una cacofonia di canti di uccelli. Questo diverso spazio di crescita, sostengono, ha anche portato a una resa relativamente elevata, perché per le piante di cacao c'è un miglior rapporto tra luce e ombra. «Siamo assolutamente soddisfatti di questo sistema; è grazie a lui se la mia famiglia continua a mangiare e mia figlia sta studiando», aggiunge Uvaldino. «Vuole diventare ingegnere civile».

Globalmente, spesso l'agroforestazione e altri programmi di «retribuzione per servizi resi all'ecosistema» ricevono incentivi sotto forma di agevolazioni fiscali o pagamenti diretti dai governi o da organizzazioni no profit. Nell'ultimo decennio, per esempio, The Nature Conservancy, grazie a finanziamenti della Banca Mondiale e del governo britannico, ha lavorato insieme a oltre 4000 contadini colombiani per convertire all'agroforestazione

Se l'agroforestazione fosse adottata nella Colombia rurale, non si otterrebbero solo isole di biodiversità, ma anche una matrice interconnessa di ambienti naturali sostenuta dai proprietari terrieri

(nello specifico, a un allevamento sostenibile) quasi 27.000 ettari di terreni ad alta biodiversità e a basso reddito di tutto il paese. In questo sistema gli agricoltori scelgono gli alberi da piantare da una lista di oltre 50 specie native; questi alberi servono come habitat per altre specie e forniscono un servizio naturale di cattura e stoccaggio di anidride carbonica.

Dall'inizio del progetto di The Nature Conservancy, gli allevatori partecipanti hanno riportato aumenti nella produzione di latte e carne fino all'80 per cento. Anche i profitti dei contadini sono cresciuti, perché i prodotti sostenibili si possono vendere cari in città come Bogotá, dove sempre più persone sono disposte a pagare un sovrapprezzo per carne, latte, cioccolato e altri alimenti provenienti da un'agricoltura biologica e responsabile. Due società colombiane produttrici di carne e latticini stanno già acquistando e pubblicizzando prodotti che non hanno richiesto disboscamenti; a questa tendenza si allineano sempre più ristoranti – fra cui una famosa catena nazionale chiamata Crepes & Waffles – spesso in risposta a pressioni da parte della clientela. Secondo Lizcano, «Il mercato, qui, è pronto per latte, carne e coltivazioni che non hanno portato a disboscamenti».

Negli ultimi mesi il Ministero colombiano dell'agricoltura sta puntando ad avviare una nuova politica di allevamento sostenibile, dopo un decennio di pressioni in questo senso da parte degli scienziati e delle organizzazioni non governative. Carolina Jaramillo, delegata colombiana presso il Global Green Growth Institute, sostiene che l'adozione di un'azione che offre incentivi economici e assistenza logistica rappresenterebbe «una vera e propria trasformazione culturale, finanziaria e tecnologica in tutta la nazione».

Previsioni incerte

Per quanto promettente, la Colombia soffre «degli stessi blocchi o mancanza di volontà politica di qualsiasi altro paese che cerca di creare un'economia sostenibile», sostiene Andrés Gómez, ricercatore *senior* sulla biodiversità all'ICF International, multinazionale che offre servizi di consulenza. A questo si aggiungono i problemi specifici della Colombia: il narcotraffico continua ad affliggere numerose regioni, e le tensioni tra molte delle 112 minoranze etniche e il governo colombiano restano alte; la Colombia si sta poi confrontando con una crisi migratoria innescata dalla crisi e dal collasso economico del vicino Venezuela. E, intanto, l'Esercito di liberazione nazionale, un altro gruppo ribelle, non ha ancora firmato alcun accordo di pace.

Tra tutte le minacce alla biodiversità del paese, la più pericolosa è la deforestazione. In tutta la nazione, tra il 2015 e il 2016 il disboscamento ha avuto un'impennata del 44 per cento e, per quanto nel corso degli ultimi otto anni la Colombia abbia raddoppiato le dimensioni delle proprie aree protette, l'84 per cento di tutta la deforestazione è stato registrato proprio in queste zone. Secondo l'Istituto Humboldt, tra il 2013 e il 2017 sono stati abbattuti oltre 40.400 ettari di parchi nazionali.

Gli scienziati non hanno analizzato quali fattori chiave si nascondano dietro questa perdita, ma elencano un certo numero di forze che hanno contribuito. In alcune aree si tratta di estrazioni aurifere o di taglio del legname illegale; in altre, della produzione di coca. Le occupazioni e le successive vendite sono un modo comune di riciclare denaro

proveniente da attività illegali, aggiunge Baptiste, e la corruzione olia gli ingranaggi del processo. In aggiunta, molti dei 6,9 milioni di sfollati interni hanno iniziato a tornare nelle loro case nelle zone rurali, e qui rivendicano la terra. Questi profughi disboscano le foreste, sostenendo «di aver sofferto a causa della guerra», commenta Miranda Londoño. «Ma non esiste il diritto di commettere un crimine per soddisfare le proprie necessità». Jaramillo suggerisce il bisogno di una «profonda riforma terriera» che potrebbe consentire ai più poveri l'accesso a terreni che sono già stati deforestati. Aggiunge però che un progetto di questa scala al momento non è stato preso in considerazione.

Cercare di tamponare le perdite di foresta, indipendentemente dalle cause, può essere letale. Nel 2017, in Colombia, sono stati assassinati più di 30 difensori dell'ambiente; le guardie forestali che interferiscono con le occupazioni ricevono regolarmente minacce di morte. Le leggi colombiane sono chiare sull'illegalità dei disboscamenti, e le corti ben equipaggiate per perseguire chi le viola, spiega Baptiste; il paese, tuttavia, ha ancora una scarsa capacità di farle applicare sul campo. Nonostante i molti arresti, ci sono pochi segnali del fatto che la deforestazione stia diminuendo. In un



L'ecologista Brigitte Baptiste, che fino a settembre 2019 ha diretto l'Istituto Humboldt, è diventata famosa in Colombia come promotrice di un'economia verde.

articolo in preparazione, i ricercatori dell'Istituto Humboldt hanno analizzato gli andamenti del disboscamento dal 2000 al 2015 per identificare i fattori che vi contribuiscono, tra cui l'espansione stradale, la presenza di piantagioni di coca e la guerriglia. Hanno usato questi dati per costruire un modello predittivo, scoprendo che, se le condizioni non cambiano, entro il 2050 la Colombia perderà altri 7 milioni e più di ettari di foresta: il 7 per cento della copertura nazionale complessiva. Oltre il 50 per cento delle perdite si registrerà in aree postbelliche.

In ultima analisi, il destino di queste foreste e di altre risorse naturali dipende dalla scelta o meno, da parte dei colombiani, di adottare l'ambiente come uno dei pilastri della nuova economia verde, anziché vederlo come un ostacolo al miglioramento del loro benessere. «A meno di creare per loro opportunità concrete, basate sul valore che possono ricavare dalla biodiversità, la conservazione non funzionerà», commenta José Manuel Ochoa Quintero, coordinatore di programma dell'Istituto Humboldt.

Baptiste, tra i principali promotori di questo programma, è diventata una sorta di celebrità. È famosa, in Colombia, sia per il carisma e l'entusiasmo con cui parla dell'ambiente, sia per il suo status di donna transgender in una nazione conservatrice. Appare regolarmente in televisione ed è citata dai mezzi di comunicazione di massa, insieme a un numero costantemente in aumento di celebrità schierate a fianco delle iniziative contro il disboscamento.

Sembra che la cultura stia cambiando. Quando il nuovo presidente colombiano, Iván Duque Márquez, si è insediato nell'agosto 2018, il piano della sua amministrazione per porre fine alla deforestazione includeva l'irrigazione con diserbanti delle piantagioni di coca, lasciando che andassero comunque irrimediabilmente perduti migliaia di chilometri quadrati di natura incontaminata. L'annuncio fu però ampiamente condannato dal pubblico e dai mezzi di comunicazione, e l'amministrazione Duque iniziò a preparare un nuovo progetto. Oggi la deforestazione è considerata una minaccia alla sicurezza nazionale.

Il segnale culturale per cui l'entusiasmo dei colombiani per la biodiversità è in aumento potrebbe essere associato al fatto che la Colombia ospita il 20 per cento delle specie di uccelli registrate in tutto il mondo. Il turismo per appassionati di *birdwatching* ha un «potenziale immenso» per la nazione, secondo un articolo pubblicato nel 2017 su «Tropical Conservation Science». Per inciso, gli autori notano che tra il 2012 e il 2013 il Perù ha raddoppiato questo tipo di turismo, che oggi vale ogni anno 89 milioni di dollari di entrate, gran parte delle quali restano alle comunità locali. Nonostante tutta quest'abbondanza di uccelli, solo nel 2015 la Colombia ha iniziato a partecipare al Global Big Day della Cornell University, un evento annuale in cui gli appassionati di tutto il mondo competono per vedere quale nazione riesce ad avvistare il maggior numero di specie in 24 ore. Nel 2017, dopo due anni di quella che Acevedo-Charry definisce «partecipazione disfunzionale», la Colombia è uscita vincitrice, con 1486 specie avvistate. Ad alzarsi in volo è stato anche l'orgoglio nazionale.

Nel 2018, avendo fiducia nel fatto che la Colombia potesse mantenere il titolo, le radio nazionali hanno promosso una campagna pubblicitaria per incoraggiare la partecipazione, e giornali e televisioni si sono occupati anticipatamente dell'evento. Il blitz ha funzionato: circa 4500 appassionati di *birdwatching*, tra cui membri dell'aviazione e della polizia, si sono appostati in 730 siti di osservazione. A Cubará, Acevedo-Charry, Johana Zuluaga-Bonilla (presidente dell'Asociación Ornitológica de Boyacá-Ixobrychus) e Saul Sanchez (ex cacciatore locale diventato conservazionista) hanno registrato, tra tutti, 111 specie, trasformando la regione, da punto interrogativo sulla mappa, in un'area ufficialmente ricca di biodiversità. In tutto il paese sono stati viste e ascoltate 1546 specie di uccelli: un numero «incredibile» per un'unica nazione in un solo giorno, come hanno commentato gli organizzatori della gara. Nel 2019 la Colombia ha nuovamente vinto la medaglia d'oro.

Questo entusiasmo si sta traducendo in opzioni economicamente realizzabili per i residenti delle zone rurali: i cacciatori, gli agricoltori dediti alle monoculture e i raccoglitori di legname ricorrono sempre di più al *birdwatching*, all'ecoturismo e all'agroforestazione. Meno di dieci anni fa i colombiani non potevano nemmeno immaginare di riunirsi per celebrare la propria biodiversità facendo *birdwatching*, per non parlare del fatto di diventare una nazione alimentata dal proprio patrimonio naturalistico, osserva Acevedo-Charry. Mentre sempre più persone, gradualmente, adottano questa visione, ci sono segnali di cambiamento: recenti immagini raccolte via satellite e analizzate da ricercatori dell'Università di Medellín indicano che i tassi di deforestazione, rispetto all'inizio del 2018, stanno diminuendo. «L'economia basata sulla biodiversità sta dando speranza a chi ne ha più bisogno», commenta Acevedo-Charry. «Ha già iniziato a cambiare molte vite». ■

PER APPROFONDIRE

Chocolate de Paz/Chocolate of Peace. Documentario diretto da G. Burnyeat e P.M. Trujillo. Disponibile su vimeo all'indirizzo web: <https://vimeo.com/179038624>.

Greening Peace in Colombia. Baptiste B. e altri, in «Nature Ecology & Evolution», Vol. 1, articolo n. 0102, 1 marzo 2017.

Colombia after the Violence. Reardon S., in «Nature», Vol. 557, n. 7703, pp. 19-24, 2 maggio 2018.

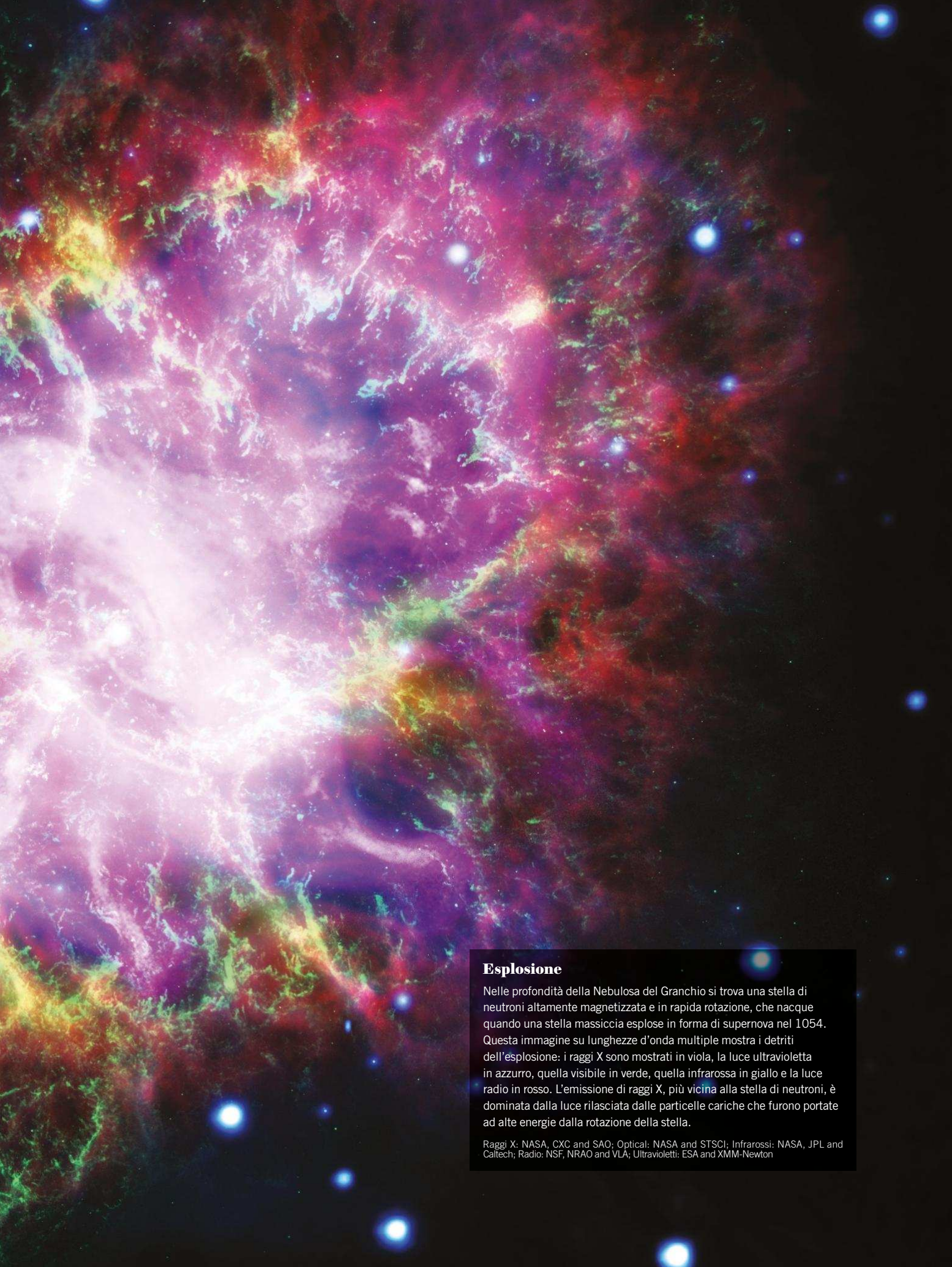
I custodi del popolo della tigre. Piore A., in «Le Scienze» n. 609, maggio 2019.

ASTRONOMIA

AK VISTA I RAGGI

Dopo due decenni nello spazio
il più importante telescopio
a raggi X del mondo, il Chandra
Observatory, continua a rivelare
nuovi segreti del cosmo

di Belinda J. Wilkes



Esplosione

Nelle profondità della Nebulosa del Granchio si trova una stella di neutroni altamente magnetizzata e in rapida rotazione, che nacque quando una stella massiccia esplose in forma di supernova nel 1054. Questa immagine su lunghezze d'onda multiple mostra i detriti dell'esplosione: i raggi X sono mostrati in viola, la luce ultravioletta in azzurro, quella visibile in verde, quella infrarossa in giallo e la luce radio in rosso. L'emissione di raggi X, più vicina alla stella di neutroni, è dominata dalla luce rilasciata dalle particelle cariche che furono portate ad alte energie dalla rotazione della stella.

Raggi X: NASA, CXC and SAO; Optical: NASA and STSCI; Infrarossi: NASA, JPL and Caltech; Radio: NSF, NRAO and VLA; Ultravioletti: ESA and XMM-Newton



Belinda J. Wilkes è astrofisica *senior* presso lo Smithsonian Astrophysical Observatory e direttrice del Chandra X-ray Center, entrambi a Cambridge, nel Massachusetts.

A partire dal 1999, quando fu lanciato, il Chandra X-ray Observatory studia il cielo attraverso la luce a raggi X a lunghezza d'onda corta, la migliore finestra per avvistare buchi neri colossali, ammassi di galassie e resti di violente esplosioni di supernova.

Il telescopio della NASA cattura la posizione, l'energia e l'istante di arrivo di ciascun fotone di raggi X che raggiunge il suo rivelatore.

Questa capacità, insieme alla sua abilità di formare immagini straordinariamente nitide e di individuare la luce su una vasta gamma di energie, ha rivoluzionato la nostra visione dell'universo ai raggi X. Grazie a Chandra capiamo meglio grandi misteri come la materia oscura, la nascita delle stelle e persino le proprietà dei pianeti nel nostro sistema solare.

Chandra è stato progettato per risolvere una domanda fondamentale nell'astronomia a raggi X: qual è la composizione della luce a raggi X diffusa che sembra presente in ogni direzione del cosmo, il cosiddetto fondo a raggi X?

È stato pensato inoltre come «osservatorio generale», di cui la maggior parte del tempo viene assegnata a ricercatori di tutto il mondo che lavorano su diversi progetti, scegliendo annualmente tra le proposte che vengono presentate. Ancora dopo vent'anni di attività, Chandra riceve tra le 500 e le 650 proposte all'anno, il che equivale a circa 5,5 volte più tempo di osservazione richiesto rispetto a quello che possiamo concedere: il processo è molto competitivo.

Chandra è stato straordinariamente produttivo. Ha raggiunto il suo obiettivo originario rivelando che quasi tutta la misteriosa luce di fondo a raggi X proviene da migliaia di singoli buchi neri supermassicci al centro di altre galassie. Ha anche rivelato nuovi segreti relativi a numerosi oggetti celesti: una forte emissione di raggi X da getti di materiale emessi dai buchi neri su-

permassicci mentre assorbono materiale; aurore luminose nell'atmosfera intorno a Giove; luce proveniente da stelle di neutroni in collisione rilevate anche attraverso le onde gravitazionali; e buchi neri di dimensioni stellari estremamente brillanti, chiamati appunto sorgenti di raggi X ultraluminose. Gli articoli scientifici basati sulle osservazioni di Chandra sono oltre 8000, e la nostra comunità conta più di 4000 scienziati in tutto il mondo.

Faccio parte della missione da tre anni prima del lancio come vice capogruppo dell'assistenza agli utilizzatori. Ho partecipato alla costruzione del sito web e della documentazione per i nostri utenti scientifici, al primo invito a presentare proposte e offrire *peer-review* e alla calibrazione del telescopio mentre veniva preparato per il lancio presso il Marshall Space Flight Center della NASA in Alabama. Mettere a punto tutto per la partenza fu un periodo impegnativo e stressante, ma non era nulla rispetto ai primi mesi dopo il lancio.

Chandra ha raggiunto e superato il suo ventesimo anniversario, e l'osservatorio sta ancora funzionando a pieno regime. Dirigo il Chandra X-ray Center a Cambridge, nel Massachusetts, dove gestiamo le operazioni del telescopio. Prevediamo che, insieme ai telescopi in funzione, come l'Event Horizon Telescope, e a quelli futuri, come il James Webb Space Telescope, e a molti altri, Chandra continuerà a esplorare nuovi terreni e a espandere ulteriormente la nostra conoscenza dei luoghi più caldi e violenti dell'universo ancora per anni.

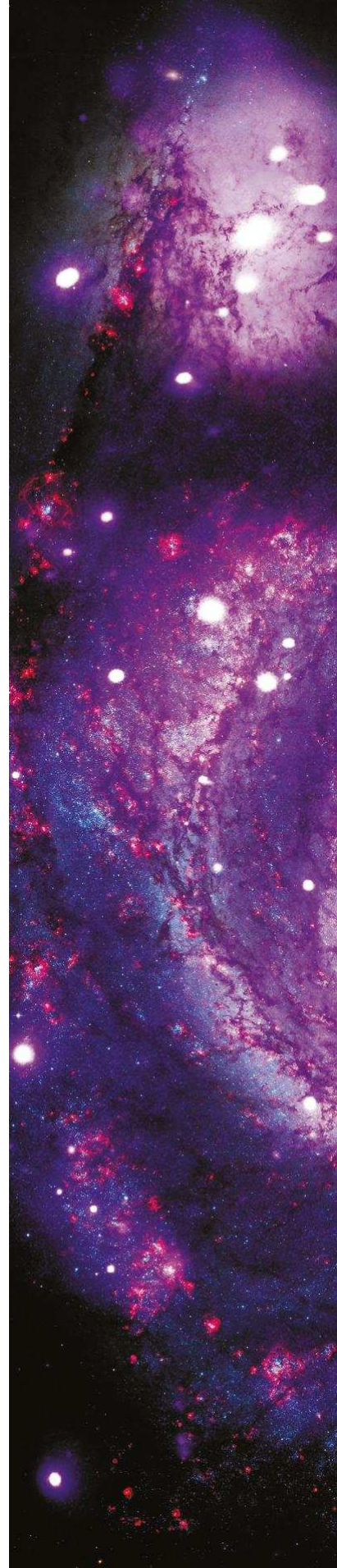
IN BREVE

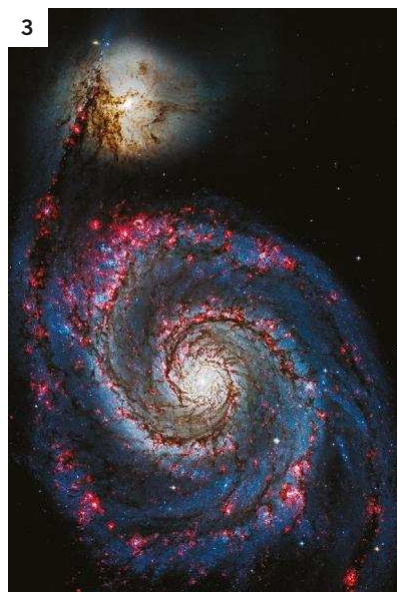
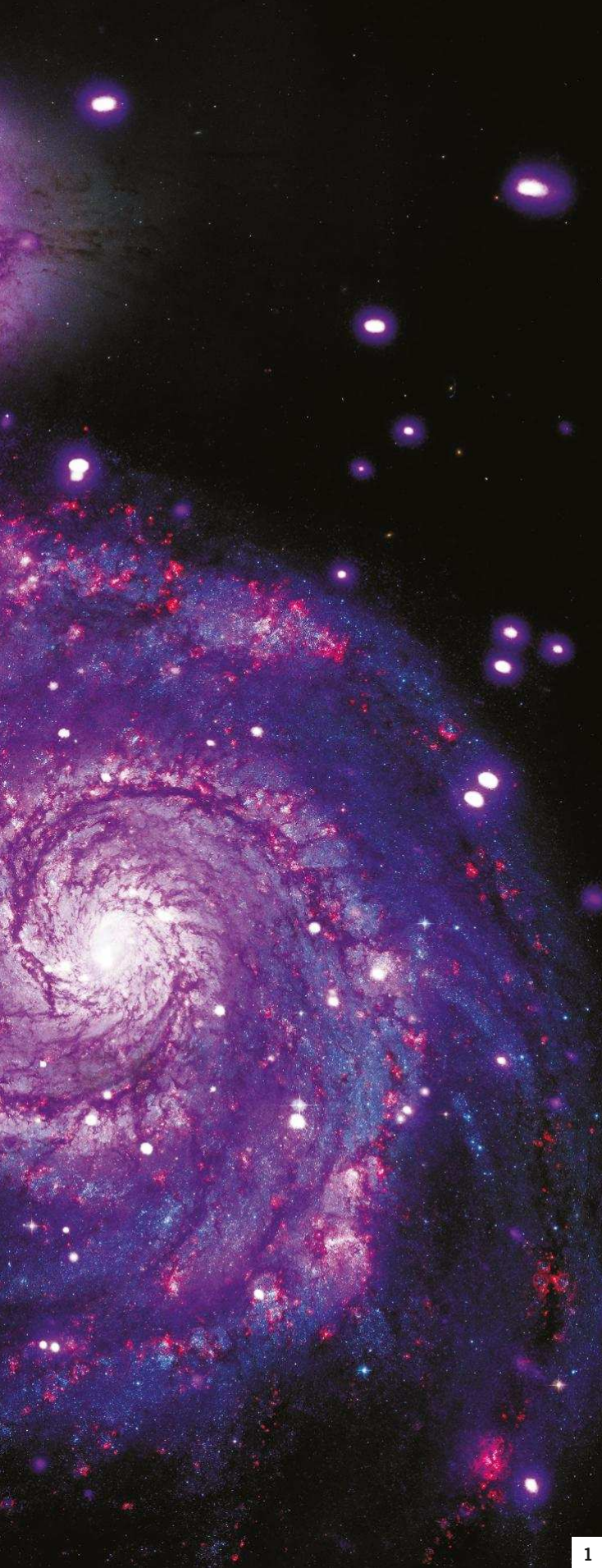
Dedicato all'astrofisico indiano Subrahmanyan Chandrasekhar, il Chandra X-ray Observatory della NASA orbita intorno alla Terra da oltre vent'anni.

Il telescopio ha compiuto importanti scoperte sui buchi neri supermassicci, i resti delle esplosioni di

supernova e molti altri oggetti celesti.

Entrato nel terzo decennio di operatività, Chandra continua a essere produttivo. Le collaborazioni previste con gli osservatori nuovi e futuri espanderanno ulteriormente la nostra conoscenza dell'universo.



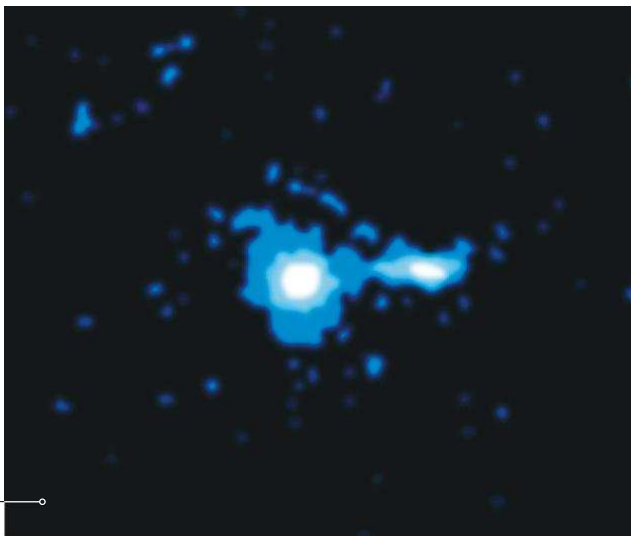


Spirali vorticanti

Due galassie che si fondono, note collettivamente come M51, o Whirlpool (il Vortice), mostrano i bei bracci caratteristici delle galassie a spirale. Qui sono visibili circa 400 sorgenti di raggi X, la maggior parte delle quali sono stelle binarie, situate principalmente vicino a regioni di formazione stellare. Si ipotizza che l'interazione tra le due galassie inneschi un'ondata di formazione di stelle che qui si traduce in un gran numero di sistemi binari a raggi X. Le pulsazioni di un sistema binario a raggi X indicano che il corpo più compatto è una stella di neutroni che sta acquisendo un'enorme quantità di materiale dalla compagna e genera così una luminosità insolitamente alta.

L'immagine principale (1) è composta dai dati a raggi X di Chandra (2) e dalla luce ottica (3) catturata dal telescopio spaziale Hubble. Combinando dati provenienti da vari telescopi è possibile ottenere immagini più ricche a lunghezze d'onda multiple, che rivelano fenomeni cosmici visibili in diverse gamme dello spettro elettromagnetico.

Raggi X: NASA, CXC, Wesleyan Univ. e R. Kilgard e al.; Ottica: NASA e STSCl



Getto volante

Agli inizi della sua attività Chandra ha osservato il quasar PKS 0637-752, un buco nero supermassiccio nel nucleo di una galassia distante, che avevo studiato un decennio prima usando i dati dell'Einstein Observatory della NASA. Il buco nero attira enormi quantità di materiale dalla galassia che lo ospita. Quando il materiale cade, raggiunge temperature così alte da diventare più luminoso dei 100 miliardi di stelle della galassia. La luce che si estende verso ovest (*a destra*) è stata una sorpresa, tanto che inizialmente il personale di Chandra temeva che ci fosse qualche problema nell'ottica del telescopio. Invece Chandra aveva scoperto l'emissione di raggi X da un getto di plasma che volava via dalla materia in caduta. In precedenza questo getto era stato avvistato sulla lunghezza delle onde radio, ma i raggi X erano inaspettati. Grazie al fatto che anche Chandra vedeva il getto, sono stati compiuti importanti progressi in ciò che sappiamo su queste strutture emanate dai poli dei buchi neri supermassicci.

NASA, CXC e SAO

Prova diretta

Tra i risultati più famosi di Chandra c'è questa immagine composta del Bullet Cluster (Ammasso del Proiettile), due ammassi di galassie che si schiantano l'uno contro l'altro. L'immagine mette insieme i dati di Chandra, di Magellan e del telescopio spaziale Hubble. Qui il gas caldo appare nella luce a raggi X (*mostrata in rosa*), mentre le galassie si possono vedere nella luce visibile (*in bianco*) grazie a Magellan. Dall'immagine a luce visibile si deduce la distribuzione della materia oscura (*in azzurro*) grazie alla distorsione delle immagini della galassia causata dalla gravità (il fenomeno detto lente gravitazionale).

La distinzione tra gas caldo e materia oscura ha fornito la prima prova diretta della presenza di quest'ultima; dimostra che questa sostanza misteriosa non interagisce né con se stessa né con la materia ordinaria, perché si muove insieme alle galassie, senza «vedere» il resto della materia che le sta intorno. Il gas caldo, invece, interagisce e rallenta, formando la sagoma a proiettile che dà il nome all'insieme dei due ammassi.

Raggi : NASA, CXC, CfA e M. Markevitch e al.; Ottica: NASA, STSCI, Magellan, Univ. Arizona e D. Clowe e al.; Mappa lensing: NASA, STSCI, ESO WFI, Magellan, Univ. Arizona And D. Clowe e al.

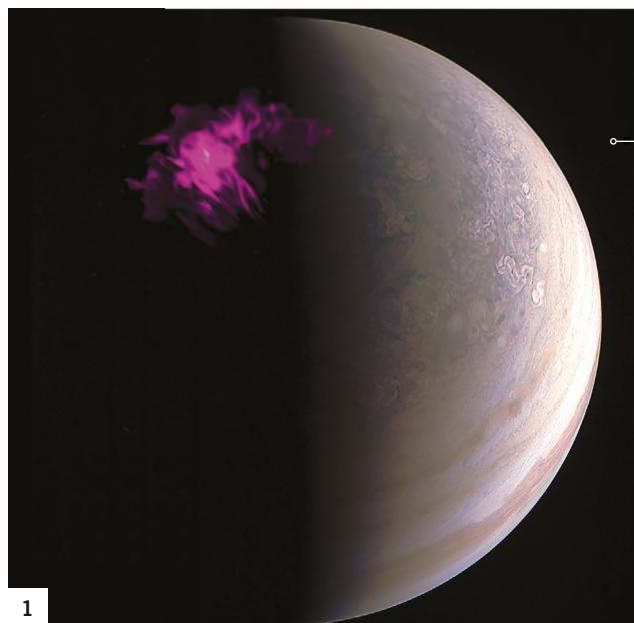




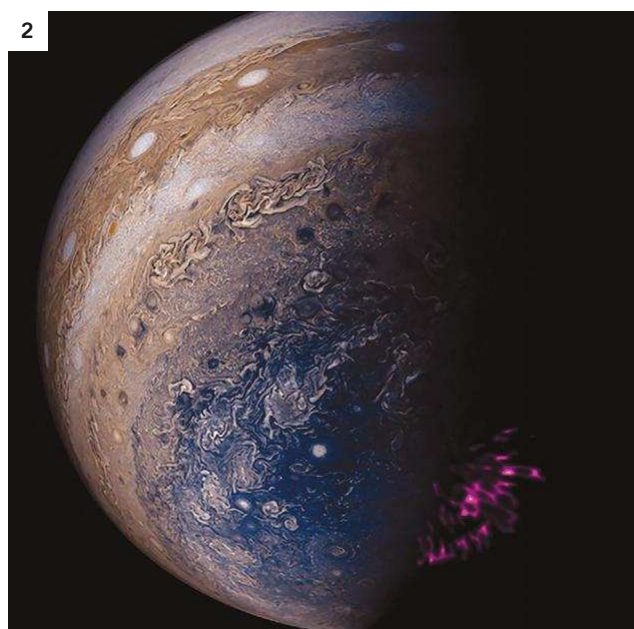
Vicino a casa

Oltre a osservare remoti buchi neri supermassicci e ammassi di galassie, Chandra ha compiuto incredibili scoperte anche all'interno del nostro sistema solare. Queste immagini di Giove mostrano l'emissione di raggi X dalle aurore ai poli sia nord (1) che sud (2) del pianeta, una caratteristica unica tra i mondi del nostro sistema solare. Si pensa che i raggi X siano generati quando nei campi magnetici si incanalano particelle dell'anello equatoriale attorno a Giove. Le osservazioni del 2019 di Chandra, coordinate con il satellite Juno della NASA, attualmente in orbita attorno a Giove, dovrebbero fornire informazioni dettagliate su questo fenomeno. Come direttrice, ho avuto la possibilità di facilitare alcune di queste osservazioni assegnando a questo studio parte del tempo

Raggi X: NASA, CXC, UCL e W. Dunn e al.; Ottica: Polo Sud: NASA, JPL-Caltech, SWRI, MSSS, Gerald Eichstädt e Seán Doran; Polo Nord: NASA, JPL-Caltech, SWRI and MSSS



1



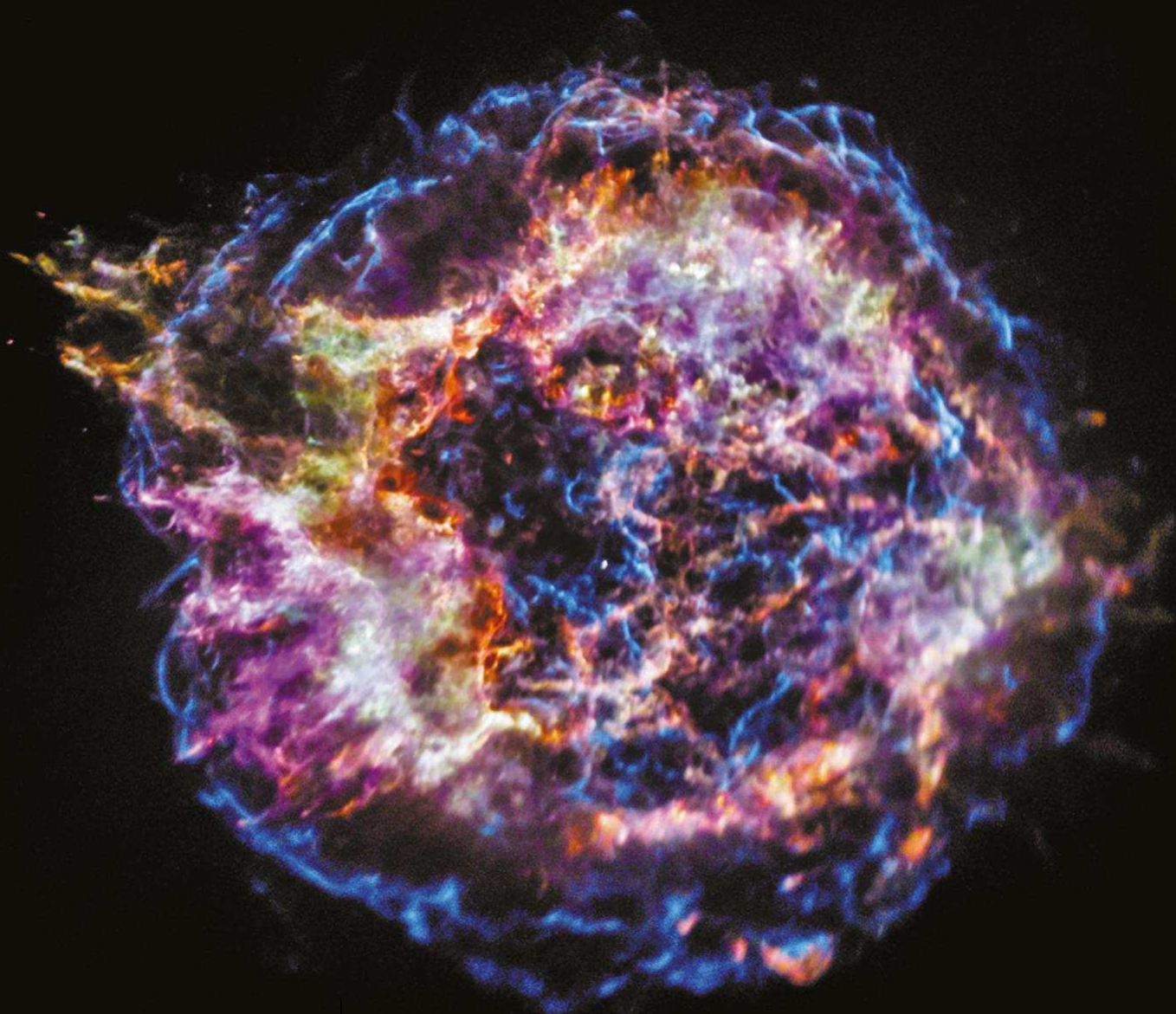
2



Stelle neonate

I più di 1400 punti luminosi azzurri e arancioni di questa immagine sono stelle appena formate in una densa nebulosa visibile a occhio nudo nel mezzo della spada della costellazione di Orione. L'acuta vista a raggi X di Chandra penetra nella nube di gas e polvere, rivelando le nuove stelle che sono celate ai tradizionali telescopi a luce visibile. Le giovani stelle sono calde e violente: la gravità attrae verso l'interno la materia, i campi magnetici la accelerano e i venti la espellono di nuovo via via che l'astro si forma e inizia a brillare.

Raggi X: NASA, CXC, Penn State univ., e E. Feigelson e K. Getman e al.; Ottica: NASA, ESA, STSCI e M. Robberto e al.



Prima luce

La prima immagine ufficiale di Chandra, l'iconico residuo di supernova Cassiopea A, mostrò immediatamente la potenza dell'alta risoluzione spaziale del telescopio scoprendo la stella di neutroni che si cercava da tempo al centro di questa nebulosa. Questo densissimo corpo celeste, un resto della stella molto più grande che esplose circa 340 anni fa come supernova, non era mai stato visibile prima di allora. L'immagine combina i dati acquisiti da Chandra nel corso di diversi anni, aumentando i dettagli della complessa struttura che si possono osservare. Usa anche la risoluzione energetica dell'osservatorio per individuare diversi elementi chimici generati all'interno della stella e spazzati via dall'esplosione: il colore rosso indica il silicio, il giallo è lo zolfo, il verde mostra il calcio e il viola il ferro. L'anello bluastrò esterno nell'immagine è l'emissione da particelle ad alta energia accelerate dall'onda d'urto dell'esplosione, un altro aspetto scoperto per la prima volta da Chandra.

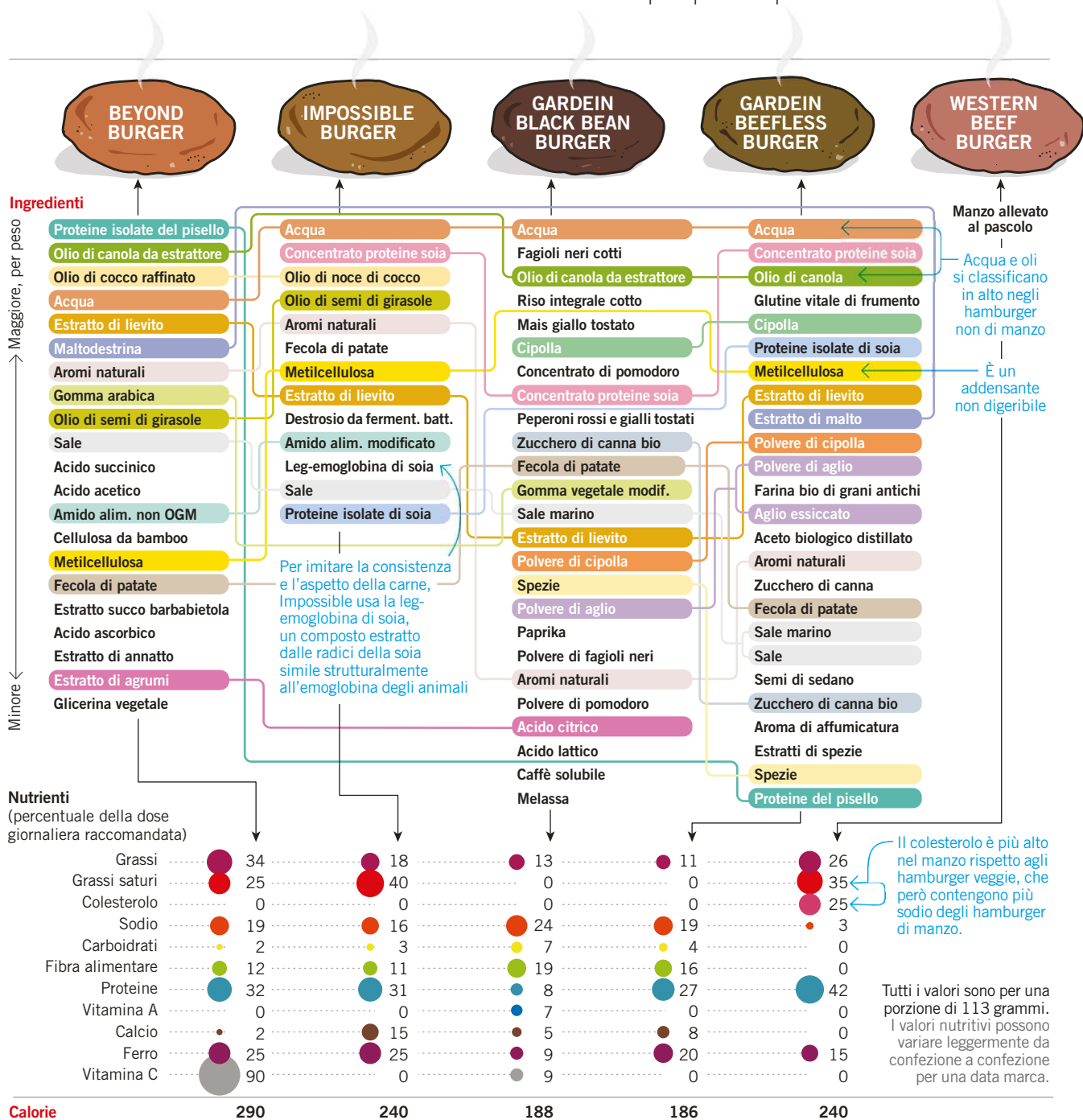
NASA, CXC e SAO

PER APPROFONDIRE

Exploring the Extreme: 20 Years of Chandra. Chandra X-ray Center. <https://chandra.si.edu/20th>.

Esplorare il nostro e altri universi. Rees M., in «Le Scienze» n. 366, dicembre 1999.

All the Light There Ever Was. Domínguez A., Primack J.R. e Bell T.E., ScientificAmerican.com, 1° giugno 2015.



Imitazioni a confronto

Gli hamburger senza carne come Impossible Burger e Beyond Burger stanno prendendo rapidamente piede. Ma di che cosa sono fatti? E dal punto di vista nutrizionale, come sono a confronto con gli hamburger di vera carne e con le classiche alternative ai fagioli neri e veggie? Abbiamo paragonato tra loro le informazioni dei cinque prodotti indicati nell'illustrazione. Le proteine di Beyond Burger arrivano da piselli macinati. Quelle di Impossible Burger

da soia e patate: i grassi provengono da oli vari. Invece, è un segreto come i produttori creino un sapido sapore *umami*. Alcuni consumatori scelgono hamburger senza carne per ridurre il proprio consumo di manzo in base a ragioni personali o ambientali, altri semplicemente preferiscono le varietà vegane. Ma se una qualunque di queste scelte sia «più sana» è opinabile. Vediamo i fatti.

Mark Fischetti



Stelle esplosive

Un sistema binario diventerà supernova entro pochi decenni: lo afferma una previsione insolita ma precisa

C'è molta concitazione mediatica per il vistoso calo di luminosità di Betelgeuse, la stella gigante che rappresenta una delle spalle di Orione nell'omonima costellazione. Si è affievolita repentinamente, nel giro di pochi mesi, e questo fenomeno è stato interpretato come un sintomo premonitore di una sua possibile esplosione come supernova. Ma le probabilità che esploda proprio nei prossimi mesi o anni sono molto modeste: Betelgeuse varia spesso di luminosità, e altrettanto spesso si scatenano i suoi catastrofisti. È vero che gli astrofisici ritengono che stelle come Betelgeuse abbiano una vita relativamente breve, ma usano questo aggettivo intendendo qualche milione di anni anziché miliardi come il nostro Sole, per cui questa stella potrebbe diventare supernova domani o fra 100.000 anni.

Sequenza in accelerazione

C'è però chi invece fa previsioni di esplosioni stellari decisamente molto più precise: secondo un gruppo di astronomi della Louisiana State University, la stella V Sagittae, oggi visibile a fatica con un telescopio nella piccola costellazione della Freccia, esploderà intorno al 2083, con un margine d'errore di 16 anni in più o in meno, diventando brillante nel nostro cielo quanto lo è Sirio.

Previsioni così precise e scadenze così brevi sono molto insolite quando ci sono di mezzo oggetti cosmici così vasti e distanti, che hanno scale temporali immense, ma V Sagittae non è una stella qualsiasi. È un sistema binario, una cosiddetta «variabile cataclismica», composta da una stella normale e da una nana bianca che le sta via via sottraendo massa. A differenze delle altre variabili cataclismiche, nelle quali la nana bianca ha più massa della compagna normale, in V Sagittae i ruoli sono invertiti: la stella normale ha circa 3,9 volte più massa della nana bianca, e questo accelera enormemente la sequenza di eventi che porta,

appunto, al cataclisma: milioni di anni diventano decenni.

Il gruppo di astronomi, composto da Bradley E. Schaefer, Juhan Frank e Manos Chatzopoulos, ha deciso di annunciare pubblicamente il pronostico perché ha simulato la dinamica di questa stella doppia così anomala e ne ha studiato le variazioni di luminosità nelle vecchie foto, risalendo fino al 1890, e nei dati recentissimi del telescopio spaziale TESS, notando che dalla fine dell'Ottocento il corpo celeste ha decuplicato la propria luminosità, con un raddoppio ogni 89 anni circa. L'unica spiegazione per un fenomeno del genere, sostengono, è una crescita esponenziale della perdita di massa della stella compagna, causata dal rapido decadimento, anch'esso osservato nel corso di oltre un secolo, del periodo orbitale del sistema, che attualmente dura solo dodici ore.

In sostanza, la stella normale e la nana bianca che la sta divorando si stanno avvicinando reciprocamente a grande velocità in un balletto a spirale e questo avvicinamento inevitabilmente accelera il ritmo al quale la stella normale viene consumata.

Scommesse ragionate

Se i calcoli di questi astronomi sono corretti, la luminosità di V Sagittae continuerà ad aumentare progressivamente nei prossimi decenni, culminando in un picco che durerà circa un mese quando le due stelle si fonderanno. Nel cielo estivo ci sarà, brevemente, una nuova stella brillante nel firmamento, facilmente visibile a occhio nudo, predetta usando la scienza e l'ingegno umano.

Può anche darsi che la previsione si riveli sbagliata: la storia della scienza è costellata di errori. Ma da quegli errori si impara, ed è confortante vedere che ci sono ancora scienziati disposti a mettere in gioco la propria reputazione facendo scommesse ragionate ma secche come questa.

biotecnologa, giornalista e comunicatrice scientifica. Tra i suoi libri più recenti *Il trucco c'è e si vede* (Chiarelettere, 2018)



Il compromesso di Palau

Una notizia molto travisata sottolinea la difficoltà di conciliare salute umana e salute ambientale

“Palau vieta le creme solari» titolavano i siti web dei principali quotidiani il primo giorno dell'anno. «Il provvedimento – continuavano gli articoli – era stato annunciato nel 2018 ed è entrato in vigore il 1 gennaio 2020: nella piccola isola non potranno più essere né veduti né utilizzati i prodotti solari, responsabili di danni irreversibili ai coralli». La reazione della rete non si è fatta aspettare. «Allora bisogna ustionarsi per forza???», commentava un utente arrabbiato. «Era ora! Dovrebbero vietare tutto, anche il turismo!», replicava un altro utente, felice della notizia. L'apice è stato toccato sull'*account* Instagram di uno dei principali quotidiani italiani che, nel dare la notizia, ha confuso la Palau dell'arcipelago del Pacifico con la Palau città della Sardegna, generando, come potete immaginare, molta illusione, ma anche molta confusione.

Salvare la barriera...

Peccato che la notizia del divieto di usare creme solari nella Repubblica di Palau sia sostanzialmente falsa. O, meglio, si tratta di una notizia che contiene qualche elemento di verità esagerato e stravolto fino a non comprenderne più il senso.

Consultando il sito ufficiale del governo di Palau si scopre, infatti, che un divieto c'è, ma è legato a dieci ingredienti di cui solo quattro sono filtri solari: ossibenzone, ottilmetossicinnamato, octocrilene ed enzacamene. Gli altri sei sono conservanti, come alcuni parabeni, e disinfettanti, come il triclosano, comuni a molti prodotti per la cura del corpo. Nelle isole dell'arcipelago non potranno più essere venduti prodotti che contengano questi ingredienti e verranno effettuati controlli in ingresso per impedirne l'importazione. Questo, però, significa anche che tutto ciò che non contiene quegli ingredienti potrà essere usato, comprese molte creme solari.

La scelta del governo della Repubblica di

Palau si inserisce in un filone che vede altre mete tipiche del turismo subacqueo, come le Hawaii, prendere provvedimenti per contenere i danni alla barriera corallina e, più in generale, all'ecosistema acquatico. Gli ingredienti oggetto del divieto sono quelli che, a oggi, hanno dimostrato di avere maggiore impatto sulla vita di coralli, molluschi e pesci, anche se i dati a disposizione sono ancora molto frammentari e poco conclusivi come emerge da un rapporto dell'International Coral Reef Initiative (ICRI) pubblicato nel febbraio 2018.

...o prevenire i tumori?

Quello che si sa dagli studi effettuati in laboratorio è che questi ingredienti possono interferire con il ciclo vitale dei coralli e provocarne lo sbiancamento. Un effetto che andrebbe ad amplificare i danni già provocati dall'aumento medio delle temperature degli oceani. Ma gli studi di laboratorio «potrebbero non riflettere adeguatamente le condizioni della barriera corallina, dove gli inquinanti potrebbero essere rapidamente dispersi e diluiti», afferma il rapporto. Senza contare che stanno emergendo dalla produzione scientifica studi che mettono sotto accusa anche altri filtri solari ritenuti, fino a oggi, più sicuri come l'ossido di zinco. Insomma, siamo di fronte a una situazione complessa che ha una ulteriore complicazione: la salute pubblica.

Le creme solari sono, infatti, uno strumento indispensabile per la prevenzione dei tumori della pelle e impedirne l'uso avrebbe conseguenze devastanti. In attesa che la ricerca produca filtri solari più ecocompatibili, quella del governo di Palau è una scelta di compromesso che ha molto più da insegnarci sul nostro impatto nel mondo del racconto travisato che ne è stato fatto.

Non esiste un pasto gratis, dice il vecchio adagio. Che mai come in questo caso si rivela attuale.

chimico, divulgatore, gastronomo. Autore di *Contro natura* (Rizzoli, 2015), *La Scienza della Carne* (Gribaudo, 2016)



Piccoli esperimenti col tè

Alcune facili prove per verificare il comportamento delle sostanze responsabili del colore della bevanda

Se siete soliti bere il tè nero con una spruzzatina di limone avrete sicuramente notato che la bevanda, a contatto con il succo, cambia immediatamente colore divenendo più chiara. Durante la lavorazione del tè, alcune molecole – le catechine – vengono ossidate e formano una serie di sostanze ancora poco studiate chiamate teaflavine, di colore giallastro, e tearubigine, di colore rosso-bruno. Queste sono le responsabili principali del sapore e del colore di una infusione di tè, e possono essere fino a un terzo del peso delle foglie essiccate.

Chiaroscuri in tazza

Le tearubigine sono composti fenolici debolmente acidi sensibili al pH, cambiando colore a seconda dell'acidità della soluzione. I chimici chiamano «indicatori» le molecole che hanno questa caratteristica. In ambiente acido le tearubigine sono più chiare, tra giallo e arancione, mentre a pH alcalini diventano rosso-brune.

Potete fare questo piccolo esperimento a casa: prendete una bustina di tè nero (un classico English Breakfast va benissimo). Fate bollire in un pentolino mezzo litro di acqua deionizzata, come quella che si mette nei ferri da stiro. Se non la trovate al supermercato, cercate un'acqua in bottiglia con un bassissimo residuo fisso. Il pH dell'acqua dovrebbe essere tra 6 e 7. Quando l'acqua è all'ebollizione spegnete il fuoco, immergete la bustina di tè e lasciate in infusione per cinque minuti.

Dividete poi il liquido in tre bicchieri di vetro trasparente non colorato. Nel primo aggiungete succo di limone. Il secondo bicchiere fungerà da controllo mentre nel terzo sciogliete mezzo cucchiaino di bicarbonato. Quest'ultimo, essendo alcalino, farà virare il colore del tè verso il bruno, mentre l'acido citrico del limone schiarirà il tè che si trova nel primo bicchiere.

È possibile far diventare il tè completamen-

te nero ma per far questo abbiamo bisogno del solfato ferroso (FeSO_4). Lo potete trovare nei negozi di giardinaggio perché viene usato per rinverdire i prati e togliere il muschio. In alternativa potete usare integratori alimentari a base di ferro in vendita al supermercato.

Preparate la bevanda lasciando in infusione la bustina per dieci minuti, in modo da ottenere un tè molto concentrato. Riempite mezzo bicchiere di tè. In un secondo bicchiere sciogliete un cucchiaino di solfato ferroso in un quarto d'acqua. Aggiungendo al tè la soluzione di solfato di ferro, di colore verde giallognolo, il liquido diventerà immediatamente nero.

Inchiostro per amanuensi

Nel bicchiere avete un inchiostro, anche se diluito, usato dai monaci amanuensi medievali. Nel Medioevo non utilizzavano il tè bensì la galla, un'escrescenza che si sviluppa su alcune piante, per esempio sulle foglie di quercia, in seguito della puntura di alcuni insetti. Mescolando il solfato ferroso con galle schiacciate e aggiungendo acqua e gomma arabica – una sostanza estratta dalle acacie – si otteneva l'inchiostro di galla o ferrogallico.

I tannini del tè contengono una molecola chiamata acido gallico che a contatto con gli ioni ferro forma il gallato di ferro, scuro e solubile in acqua, che può penetrare nella carta. Successivamente in presenza di ossigeno il ferro si ossida formando un composto nero insolubile che rimane fissato nella carta.

Nelle galle la concentrazione di tannini è molto più elevata che nel tè ed è per questo che venivano impiegate dai monaci amanuensi medievali per ottenere un inchiostro molto concentrato.

Provate con un pennello a prelevare un po' di inchiostro e scrivere su un foglio di carta, ma ricordatevi sempre di non usare per i vostri esperimenti gli stessi contenitori e utensili che adoperate per bere e mangiare.



Composti sensibili.

Le tearubigine contenute nel tè sono sensibili al pH e cambiano colore a seconda dell'acidità della soluzione, diventando più chiare se l'ambiente è acido e più scure se è alcalino.

Sempre si vince... ma come?

“Venghino, venghino siore e siori! Venghino che sempre si vince, anche quando si perde! E oggi mi voglio rovinare, mi voglio! Faccio giocare anche questa malefica gatta! Oh, buongiorno, Treccia.»

Silenzio.

«Buongiorno, Treccia.»

Silenzio.

L'unica cosa che impediva l'abituale esplosione di Alice era il sorriso satanico sul volto di Rudy: Doc, attrezzato come un improbabile imbonitore da fiera, era troppo impegnato a capire cosa dicesse Gaetanagnesi.

Silenzio.

Rudy, mosso a satanica pietà, decide infine di romperlo, il silenzio. «Orsù, dottoressa Riddle, non faccia quell'espressione così scandalizzata. Devo forse ricordarle che, neanche troppo tempo fa, lei stessa si è cimentata nel ruolo d'imbonitrice durante una fiera, accalorandosi con impegno e passione come venditrice di magliette matematiche? Il povero Doc, in fondo, non fa altro che tentare una pallida imitazione di quella sua encomiabile performance. E comunque, per evitare del tutto malintesi e corrucciamenti, mi incarico personalmente di spiegare tutto. Ecco: abbiamo messo ordine in cantina.»

Accurati studi, nel corso degli anni, hanno dimostrato che è impossibile mantenere il silenzio quando ci si scontra con una «spiegazione» di Rudy. Ancorché esserne un'eccezione, Alice è il preclaro esempio della validità di questa regola.

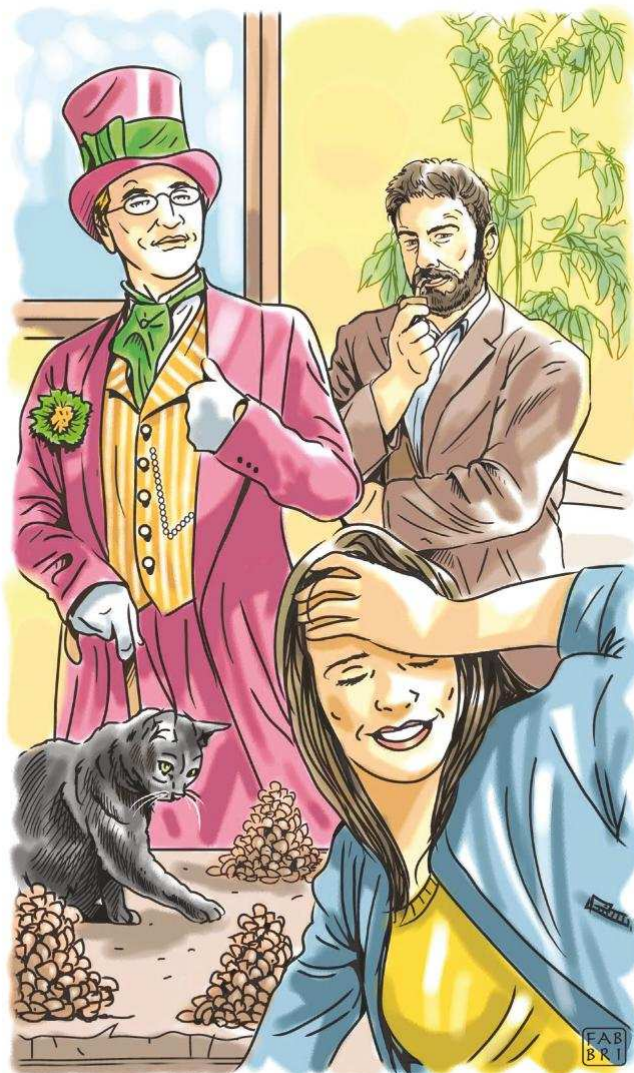
«Avete messo ordine in cantina?» sibila ringhiando. «Ovvio. Dovevo arrivarci da sola, vero? E il disordine della cantina si è magicamente ripresentato in casa, nevvro?»

«Certo, che diamine!» sorride Rudy. «Come brillantemente esplica, nelle sue varie formulazioni, il secondo principio della termodinamica, l'entropia, intesa come grado di disordine dell'universo, è una grandezza non decrescente: quindi, per ordinare da qualche parte, dovevamo mettere in disordine da qualche altra. Era la stessa madre natura a chiedercelo.»

«Madre natura vi ha anche proibito esplicitamente di aumentare l'entropia della vicina discarica? È diventata così burocraticamente precisa, nelle sue direttive universali?»

«No, che sciocchezza! Siamo stati noi, di nostra spontanea volontà, ad aver stoicamente deciso di sacrificarci, trasportando qui i preziosi cimeli che abbiamo recuperato.»

«Preziosi cimeli. Il sogno segreto di ogni arredatore. Quella schifezza tarlata e arrugginita che qualche eone fa poteva essere un tavolino pieghevole è uno dei preziosi cimeli?»



«C'era forse del sarcasmo nella tua voce? Ma, Treccia, allora tu non hai il senso della storia! Quello è il mitico tavolino di Doc! Quello del gioco delle tre carte! Intere annate di tasse universitarie sono state regolarmente versate grazie a cotanto manufatto!»

«Ecco, ci mancava anche questa: un prezioso cimelio che è anche una prova a carico. A me comunque continua a sembrare un oggetto che anche la peggiore delle discariche avrebbe delle remore ad accettare. E che cos'altro avete trovato, in quella grotta delle meraviglie dimenticate che è la nostra cantina?»

«Oh, poco altro. E quasi tutto immateriale, Treccia, tranquillizzati. Per esempio, io ho trovato un problema. Annata 2013, una delle migliori di questo millennio.»

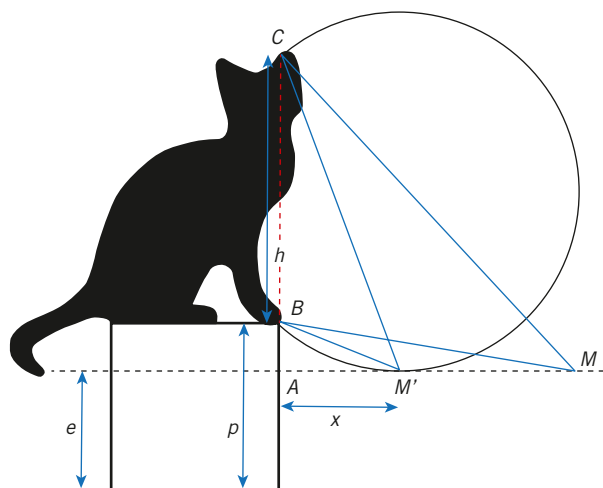
«Anche perché non ne è ancora neanche passato un cinquantesimo, quindi è facile fare gli splendidi. E non tirare in ballo la media armonica, per cambiare discorso.»



IL PROBLEMA DI GENNAIO

Il mese scorso i nostri eroi ragionavano su quale fosse il punto migliore per l'osservazione di un'ipotetica statua (felina, nel caso specifico, ma non è un requisito essenziale). Per capirlo, si tracci il cerchio avente come corda l'altezza h della statua e tangente alla linea orizzontale corrispondente all'altezza degli occhi dell'osservatore, distante e dal terreno. Sia p l'altezza del piedistallo della statua, che ipotizziamo maggiore di e . Qualsiasi angolo alla circonferenza sottendente la corda h ha la stessa ampiezza: in particolare, avrà questa ampiezza l'angolo con vertice in M' . Qualsiasi altro angolo sottendente la corda ma con vertice esterno al cerchio (e, in particolare, ogni altro angolo sulla retta ad altezza e) ha ampiezza minore di quello in M' . Quindi, il punto di vista che sottende il massimo angolo è quello da M' .

Esprimendo le tangenti degli angoli $CM'A$ e $BM'A$ in funzione dei dati (l'angolo che ci interessa è la differenza tra questi due), ricavando x e derivando onde ottenere il massimo (e deve essere un massimo, visto che la tangente è monotona crescente tra 0° e 90°), si ottiene che la distanza migliore da cui guardare la statua è $x = \sqrt{(p-e)(p-e+h)}$.



«Non ci penso neppure. Comunque, anche il mio problema è lì, esibito sul tavolino che ha fatto la storia.»

«Io vedo solo mucchi di crocchette, guardati con interesse da una micia affamata.»

«Appunto, l'idea è di affamarla il più possibile. Lei vuole satollarsi, Doc ha l'incarico di affamarla. Almeno, fuoripasto. Non che sia una cosa difficile, in realtà...»

«Va bene, mi arrendo. Qual è il gioco che hai sadicamente composto per tenere fermi quei due?»

«Non comincerò, come mio solito, con "molto semplice", anche perché è piuttosto complicato...»

«Ehm... Capo?»

«Dimmi, Doc.»

«Tu sai la soluzione per "milleduecentocinquantatré"?»

«Sì.»

«Potresti dirmela?»

«No. Come dicevo, Treccia, il problema è piuttosto complesso: Doc ha a disposizione 2013 crocchette...»

«Adesso capisco come hai determinato l'annata. Speravo in uno dei tuoi infallibili sistemi di catalogazione.»

«Ehm... di recente hanno mostrato di essere anche troppo fallibili, quindi sorvolerei su questo argomento e continuerei con il problema. Doc sfrutta queste crocchette per costruire cinque mucchi ben visibili al pubblico e alla gatta; insomma, il numero di crocchette che compongono ogni mucchio è palese e noto. A questo punto, la gatta costruisce un numero tra zero e duemilatreddici...»

«"Costruisce"?»

«Beh, inizialmente pensavamo di predisporre duemilaquattordici cartoncini per facilitarle scelta con una veloce zampata, visto che non ha corde vocali per pronunciare bene l'italiano, ma non eravamo sicuri che tu avresti apprezzato un'ulteriore coriandoliz-

zazione del soggiorno. Insomma, diciamo semplicemente che la micia sceglie e comunica un numero, e una volta che questo è reso noto, Doc deve fare in modo che la somma di uno o più dei mucchietti sia pari al numero scelto da Gaetanagnesi.»

«Che vuol dire "fare in modo"? O la micia è sua complice e sceglie un numero che sia ottenibile sommando opportunamente alcuni mucchietti, oppure la vero difficile...»

«Altro che complice! La micia è la sua avversaria giurata, in questo gioco. Tuttavia Doc ha la possibilità di togliere delle crocchette dai cinque mucchi originari e costruire un sesto mucchietto. Può prendere quante crocchette vuole, dai mucchietti che vuole, per fare il sesto mucchietto. E risolve il suo compito facendo in modo che il numero prescelto sia ottenibile sommando le crocchette di uno o più (anche tutti) i sei mucchietti ora presenti sul tavolino.»

«Ah, ecco. Così non è più difficile: in compenso, è diventato così semplice da raggiungere la banalità...»

«Aspetta, Treccia! Come imboniva Doc, "sempre si vince!", e a vincere sempre è la micia. Il punto cruciale del gioco è che alla fine, quando il nostro banditore ha costruito il numero, la gatta vince tutte le crocchette tolte dai cinque mucchietti originali! Insomma, si pappa l'intero sesto mucchietto, quello costruito per ottenere il numero richiesto.»

«Oh-oh. Allora la dieta della micia corre grossi pericoli, temo.»

«Già. Doc deve dividere le crocchette prima che Gaetanagnesi dica il numero, e quindi non può barare. La domanda è: quale divisione permette a Doc di generare qualsiasi numero togliendo il numero minimo di crocchette? E al massimo, quanto vale questo numero minimo?»

«E Doc sa la soluzione?»

«Certo che no. La gatta mi artiglierebbe, se suggerissi a Doc un metodo per minimizzare il suo spuntino...»

Che cos'è, davvero, la materia?

Storia del concetto di «massa» dal pensiero greco alla meccanica quantistica

Massa

di Jim Baggott

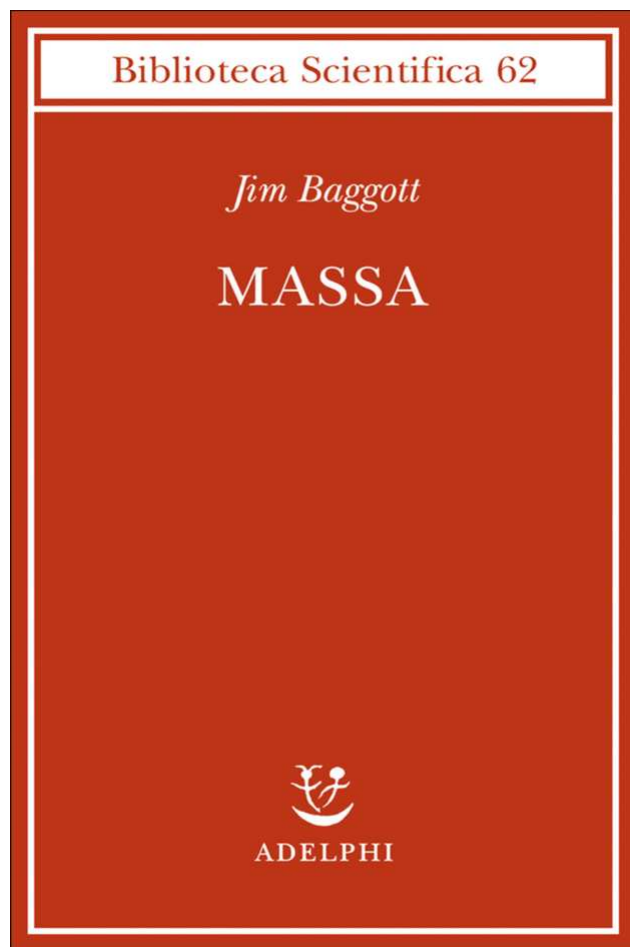
Adelphi, Milano, 2019, pp. 228 (euro 27,20)

“**D**i che cosa è fatto tutto quanto?» è una domanda antica come la filosofia. Se lo chiedevano già i filosofi greci, i primi a elaborare una teoria atomica, e la ricerca di una risposta soddisfacente anima ancora oggi la fisica di frontiera. A questa ricerca è dedicato il nuovo libro di James Baggott, già autore per Adelphi di *Origini* e *Il bosone di Higgs*. *Massa* illustra al lettore come, dall'antichità a oggi, filosofi e scienziati hanno analizzato uno dei concetti fondamentali della fisica e della chimica. E lo fa con tutto il rigore possibile, rendendo comprensibili a tutti teorie ed esperimenti della fisica contemporanea senza cedere a metafore suggestive ma spesso fuorvianti.

Nell'esperienza quotidiana, la materia di cui è fatto il mondo ci appare innanzitutto come «massa» cioè inerzia, peso, gravità. Per molti secoli, i concetti di massa e materia sono stati strettamente collegati. Secondo Newton, per esempio, la massa è la «quantità di materia» contenuta in un corpo e provoca la resistenza all'accelerazione. La definizione compare ancora in qualche manuale scolastico, solo che non significa nulla. Definire la massa in termini di forze o di densità è tautologico, perché densità e forze sono a loro volta definite in termini di massa nella fisica newtoniana. L'empirista Ernst Mach riesce ad aggirare l'ostacolo logico, ma deve ricorrere a una massa-campione per avere almeno una definizione operativa della massa. In ogni caso, scrive Baggott, questa definizione «non ha nulla da dire su una delle proprietà più essenziali degli oggetti materiali. Non ci dice che cos'è la massa».

Nei secoli tra Newton e Einstein, scienziati di varia estrazione tenteranno di capire dove si annidi la massa. Dapprima i chimici dedurranno le proprietà granulari della materia analizzando i rapporti con cui le diverse sostanze entrano nelle reazioni. Poi i fisici stabiliranno l'esistenza degli atomi e la loro ulteriore scomposizione in protoni, neutroni ed elettroni. A inizio Novecento, la massa sembra concentrata in queste particelle, che ancor oggi ci immaginiamo come sferette colorate in orbita le une intorno alle altre.

Eppure, lo stesso Einstein, che aveva dimostrato l'esistenza degli atomi, getta le basi per il loro superamento equiparando la massa all'energia, una grandezza che associamo non ai corpi ma alle loro interazioni. Via via che si esplora il mondo atomico, e poi quello subatomico, la meccanica quantistica procede a una graduale smaterializzazione del mondo. Lo spazio si riempie di campi, eternee entità fisiche che determinano le proprietà dello spazio e, per esempio, orientano la limatura di ferro vicino a una calamita. Dal canto loro, le particelle sono descritte come oscillazioni che si propagano lungo i campi. Si possono interpretare come corpuscoli, ma anche come onde. La massa cessa di essere una proprie-



tà di queste onde-particelle (*Massa senza massa* è il titolo dell'ultimo capitolo) e diventa una caratteristica della loro interazione con un ulteriore «campo», quello di Higgs. A cui pure deve essere associata un'increspatura, cioè una particella, il famoso bosone. L'intuizione, avanzata per la prima volta nel 1964, viene confermata al CERN di Ginevra nel 2012.

Nel frattempo, anche in cielo la massa sembra nascondersi. Nella seconda metà del Novecento astronomi e cosmologi scoprirono che, per conciliare la gravità con il moto delle stelle che osserviamo e con la teoria del big bang, occorre un'enorme quantità di massa e di energia «oscure», su cui ancora non sappiamo nulla se non che ci sono perché ne osserviamo gli effetti gravitazionali. Se dunque, come dicono le osservazioni, conosciamo la natura solo del cinque per cento della massa presente nell'universo, la domanda iniziale è tuttora apertissima.

Andrea Capocci

Tutta la verità su quel rossetto

Applicare il metodo scientifico al mondo del make-up

«Io pensavo fosse come mettersi una tisana in testa!» è stata l'esclamazione stupita e un po' allarmata di un'amica dell'autrice, la biotecnologa e comunicatrice della scienza Beatrice Mautino, di fronte ai suoi approfondimenti su un prodotto che è un mito per gli amanti del naturale: l'*henné*. Da sempre contrapposto alle tinture «chimiche» e «cattive», vanta anche presunte doti terapeutiche, come la capacità di rinforzare i capelli e di riparare i danni causati da altri prodotti. Un preparato ritenuto naturale ed ecobio, qualsiasi cosa significhi, si adopera senza porsi il problema di dosi e tempi di applicazione, perché, dopotutto, che male può fare una tisana in testa? E invece no: quanto questo discorso possa trarre in inganno Mautino lo aveva già sottolineato nella sua intensa attività divulgativa, tra libri, festival, mostre e presenza sui *social media* e oggi riprende il tema anche in questo lavoro.

Proseguendo il discorso già avviato con *Il trucco c'è e si vede*, in questo libro l'autrice alterna ai capitoli più propriamente dedicati alla decostruzione dei miti alimenta-

ti dal marketing altre sezioni che introducono il lettore al mondo a molti ignoto delle professioni che ruotano attorno alla cosmesi. Pochi sanno, per esempio, che cosa faccia un colorista, ma scoprire che dietro la tinta di un rossetto c'è un professionista in grado di vedere cinque o sei sfumature dove gli altri percepiscono un semplice colore sarà un'istruttiva sorpresa. Così come lo sarà riflettere sulle differenze di prezzo tra prodotti praticamente identici: è un discorso che l'autrice aveva già affrontato a proposito di alcuni cibi come il riso Venere in un precedente libro scritto con Dario Bressanini e che vediamo applicabile anche all'industria dei cosmetici.

E se la scienza è il sostrato dell'intero discorso, emerge in modo particolarmente chiaro nell'ultima sezione, dove si affrontano questioni come la patologizzazione di condizioni comuni (per esempio, l'alitosi) per aprire a un prodotto la strada del mercato. Saperlo aiuta a fare scelte più consapevoli, anche quando decidiamo di concederci la coccola di un prodotto che ci piace.

Anna Rita Longo



La scienza nascosta dei cosmetici

di Beatrice Mautino,
Chiarelettere, Milano, 2020,
pp. 240, (euro 16,00)

Il potere dei dati oscuri

A volte le informazioni mancanti contano più di quelle note

Immaginate di voler fare un'indagine su una popolazione. Preparate un questionario e lo distribuite al vostro *target*. Dopo un po' di tempo, riceverete le risposte ed elaborerete i dati per descrivere alcune caratteristiche della vostra popolazione di riferimento. Sembra una procedura banale, che viene applicata costantemente da istituti di statistica e ricercatori. Ma nasconde un'insidia. Non tutti coloro che hanno ricevuto il questionario lo avranno compilato e le loro risposte rappresentano una certa quantità di dati che sapete esistere, ma che non siete riusciti a raccogliere. In alcuni casi, questi *dark data*, come li chiama David Hand, possono essere determinanti per farsi un'idea più sensata di un gruppo di oggetti o persone, come dimostra la storia di Abraham Wald e gli aerei della seconda guerra mondiale.

Durante il conflitto, l'aviazione militare degli Stati Uniti gli chiede di studiare come migliorare la corazzatura dei caccia per limitare le perdite. Wald analizza tutti i caccia che ritornano e si accorge che non sono crivellati in modo uniforme. Sulla base della sua analisi, Wald sug-

gerisce di proteggere maggiormente la zona del motore, che negli aerei rientrati presentava mediamente meno colpi. Il ragionamento è che altrettanto importante erano le informazioni che mancavano, i *dark data*, che gli aerei abbattuti avevano portato con sé sul fondo dell'oceano. Wald, cioè, era cosciente che le informazioni mancanti talvolta possono essere addirittura più importanti di quelle note e basare le proprie conclusioni solo su quello che sappiamo può portare a conclusioni fuorvianti.

Hand individua 15 diverse tipologie di *dark data*: da quelli che sappiamo esistere, ma non conosciamo, a quelli intenzionalmente oscurati o nascosti nelle aggregazioni, passando per diversi metodi di selezione, consapevole o meno, che possono inficiare il significato complessivo di un insieme di informazioni. In un'epoca di grande fiducia nei confronti dei *big data*, con cui alcuni pensano addirittura di sostituire il metodo scientifico, Hand ricorda l'importanza dell'umiltà di Socrate, cioè la consapevolezza di sapere di non sapere.

Marco Boscolo



Il tradimento dei numeri

di David J. Hand
Rizzoli, Milano, 2019,
pp. 368 (euro 20,00)

Gli archeologi del crimine

Esperienze e metodi di un laboratorio di medicina legale

È un lavoro di squadra quello descritto nel libro: un lavoro con cui medici, biologi, antropologi, genetisti, archeologi contribuiscono ad aiutare la giustizia, a tutelare i diritti umani, a conoscere popolazioni antiche. In altre parole, a far luce sul passato, recente o remoto, attraverso l'esame dei corpi, vivi o ridotti a un mucchio di ossa. Tra sopralluoghi, autopsie e indagini di laboratorio, Cattaneo ci apre le porte del LABANOF, il Laboratorio di antropologia e odontologia forense dell'Università degli Studi di Milano fondato 25 anni fa che dirige. E ci racconta con passione, delicatezza e rispetto che cosa significhi fare il medico legale, raccogliere gli elementi utili a ricostruire le dinamiche di una morte, di uno stupro, di un'aggressione o l'identità di chi altrimenti resterebbe senza nome. «È una specie di archeologia del crimine», scrive, dall'importanza storica, giuridica, umana, umanitaria. Perché rintracciare e interpretare gli indizi di delitti leggibili sul corpo può essere utile per accertare la colpevolezza di qualcuno, fornire oggettivi riscontri che permettano di condannare o assolvere, intercet-

tare la violenza e prevenirne altra, dare voce ai cadaveri sconosciuti, alle vittime di abusi e aggressioni.

È un racconto in soggettiva quello con cui Cattaneo ci fa conoscere i primi passi del LABANOF e i suoi, biologa, antropologa e medica legale, nell'ambito delle scienze forensi. Ha iniziato al Museo archeologico di Como a lavorare sugli scheletri per studiare necropoli locali. E sarà che il «primo amore non si scorda mai», ma studiare i resti umani di epoche lontane, «che non hanno più rilevanza giuridica e la cui storia non va difesa con accanita determinazione in tribunale, a volte diventa un rifugio» dalla tragedia di bambini feriti nell'intimo dalle persone che più dovrebbero proteggerli e amarli, di naufraghi senza volto, di donne e uomini picchiati, violentati, torturati. Perché anche se i metodi applicati ai due mondi, passato e attuale, sono gli stessi e la serietà scientifica anche, il presente non ti pone di fronte solo alle lesioni lasciate sul corpo ma anche alle ferite dell'anima e in questi casi il dolore è vivo.

Simona Regina



Corpi, scheletri e delitti

di Cristina Cattaneo
Raffaello Cortina, Milano, 2019,
pp. 248 (euro 13,60)

Il racconto del cardiologo

La medicina del cuore, dalle origini ai nostri giorni

Gli eventi cardiaci sono ancora oggi la prima causa di morte nelle nazioni del Nord del mondo, nonostante la scienza medica sia riuscita, soprattutto nel corso del Novecento, a intervenire in tanti e diversi modi: sulla «semplice» idraulica della circolazione, sull'elettrofisiologia del muscolo cardiaco, con i farmaci, fino al trapianto o al cuore artificiale. Tanti aneddoti personali e storici formano la trama di questo racconto dell'esperienza di medico cardiologo, alle prese con successi e fallimenti di fronte all'organo da sempre considerato il motore della vita. Con uno stile collaudato, scorrevole, brillante e accessibile, miscelando la propria esperienza quotidiana con la ricostruzione delle origini della propria professione, Jaundar esplora la medicina del cuore senza trascurarne la parte umana ed emotiva. D'altra parte, ci informa sin dalle prime pagine, il cuore è davvero soggetto alle emozioni: negli ultimi anni numerosi studi hanno rilevato la cosiddetta «cardiomiopatia takotsubo» (un termine giapponese che indica la peculiare forma assunta dal cuore in questa sindrome)

me) che emerge in seguito a situazioni stressanti come un lutto, un allarme sociale, una calamità naturale. E sempre più ricerche, molte si trovano nella bibliografia in fondo al volume, mostrano che «il cuore emotivo influenza la propria controparte biologica in molti strani modi». E il processo di riparazione dello stress non è solo biomedico: passa dall'alimentazione e dai farmaci, ma anche da aspetti sociali, psicologici e politici. Se quindi vogliamo davvero contrastare questo enorme problema di sanità pubblica, va ripensato il nostro stile di vita, non solo individuale ma collettivo (un esempio: rendere possibile andare a piedi o in bici, invece che rendere indispensabile l'auto).

Questo libro rende omaggio anche a tutti i medici innovatori (alcuni sperimentando sul proprio corpo) che hanno reso possibile capire come funziona e come curare il cuore: non sprechiamo i loro sforzi, e potremmo vivere meglio e più a lungo (e anche il pianeta potrebbe essercene grato: la bici inquina meno...).

Mauro Capocci



Il cuore. Una storia

di Sandeep Jauhar
Bollati Boringhieri, Torino, 2019,
pp. 262 (euro 28,00)

Dalle mani al bisturi

Storie e aneddoti dai tavoli operatori di ogni epoca

Il chirurgo è colui che lavora con le mani: la stessa parola che lo designa deriva dal greco *kheir*, mano, insieme a *ergon*, cioè lavora, opera, agisce. Con le mani con cui cura, il chirurgo olandese Arnold van de Laar ha scritto un libro per parlarci di chirurgia, appunto: libro tradotto in più di dieci lingue tra cui, recentemente, anche la nostra.

Il suo *Sotto i ferri* è una raccolta di storie e aneddoti rivolta a chi abbia una qualche curiosità, non solo professionale, sul tema. Parla di fabbri che nel Seicento si sono asportati calcoli vescicali con i propri rozzi attrezzi di bottega, di re con ascessi ai denti e all'ano, di papi obesi e di maghi con l'appendicite. Sono cioè storie di celebrità di epoche diverse afflitte dai problemi di tutti quanti, che per van de Laar diventano il pretesto per spiegare al lettore come sono nate e si sono evolute le idee e i metodi della chirurgia. Ma anche, per esempio, per dirci quanto siamo fortunati a vivere in un'epoca di attenzione estrema verso i rischi della sepsi (o, quanto meno, così dovrebbe essere), di strumentazioni fini e ultratec-

nologiche, e soprattutto di benedetta anestesia. Più interessante è l'introduzione, in cui van de Laar dà al lettore la cornice di lettura delle sue storie.

La chirurgia, spiega, deve essere nata spontaneamente laddove l'uomo ha avuto problemi curabili «con le mani». Si può presumere che i primi interventi siano stati quelli di medicazione delle ferite, seguiti dal drenaggio del pus, che ha richiesto la nascita del coltello da chirurgo, cioè del bisturi. Poi ci deve essere stata la cura delle fratture ossee. E via via che la vita umana si allungava, e che contemporaneamente la tecnica migliorava, aumentavano le competenze di quello strano tipo di medico che, per curare un paziente, deve provocargli una ferita.

Si segnalano nel corso di tutto il libro alcune imprecisioni soprattutto nel lessico medico, al limite dell'errore marchiano (come «infezione» per «infiammazione»). Si raccomanda perciò di considerarlo un gradevole libro aneddótico, non un manuale di storia della medicina.

Silvia Bencivelli



Sotto i ferri

di Arnold van de Laar
Codice edizioni, Torino, 2019,
pp. 345 (euro 26,00)

Leggendo il DNA

Un manuale di introduzione alla complessità della genetica

L'immagine del sillabario, che l'autore propone al suo lettore, non è casuale. I sillabari aiutano a imparare i primi rudimenti della lettura e della scrittura partendo dalle unità fondamentali che compongono la lingua: lettere e sillabe. L'intento di Guido Barbujani, professore di genetica all'Università di Ferrara e noto divulgatore scientifico, è avvicinare il lettore ai concetti principali di questa disciplina partendo dalla metafora dello scrivere e del leggere, già presente in Mendel, il padre della genetica. Le lettere ormai le conosciamo bene: sono le basi azotate che compongono il DNA (adenina, citosina, guanina e timina) e abbiamo dimestichezza anche con il lessico: cioè i geni e le regioni di DNA che li attivano e spengono. Ma come studenti alle prime armi ce la caviamo ancora male con la sintassi: il modo in cui questi geni interagiscono tra loro e con l'ambiente è una lacuna che faticiamo a colmare, nonostante i numerosi passi avanti della ricerca scientifica. È per questo, per esempio, che non si riesce a prevedere l'insorgenza di malattie dovute all'interazione di tanti geni e fattori ambienta-

li, complesse per definizione e frequente causa di gravi problemi, come Parkinson, cancro, diabete.

«Complessità» è forse la parola chiave che fa da sfondo al libro: da risposte troppo semplici a questioni complesse sono nate molte delle mistificazioni scientifiche collegate a usi scorretti e contrari all'etica di concetti di genetica, con esiti a volte tragici testimoniati dalla storia. E così come la scienza smentisce categoricamente i pregiudizi dei razzisti, è impossibile indicare il gene dell'intelligenza, quello della criminalità o, ancora, del fascino e dell'amore, sebbene i giornali e il Web spesso ne parlino. Allo stesso modo, sarebbe bene dubitare dell'attendibilità dei test genetici che, a caro prezzo, promettono di svelare le nostre origini remote. Mentre forse conviene dare una possibilità ai tanto criticati OGM: ma anche qui il discorso si fa complesso e a semplificarlo si sbaglierebbe sicuramente, come sempre quando si parla di scienza. E sarebbe un errore di sintassi, da sottolineare con un segno blu.

Anna Rita Longo



Sillabario di genetica per principianti

di Guido Barbujani,
Bompiani, Milano, 2019,
pp. 240 (euro 16,00)

Venezia affonda

di Fabio Florindo, Marco Anzidei e Antonio Vecchio

È l'azione combinata della subsidenza e dell'innalzamento del livello del mare a provocare gli eventi di acqua alta sempre più frequenti e drammatici registrati negli ultimi tempi, rischiando di far sprofondare la città lagunare.

Dossier: La rivoluzione dei farmaci a DNA

di C. A. Mirkkin, C. Laramy, K. Skakuj, T. Lewis, J. Daley e S. Devaney

I progressi della genetica degli ultimi decenni hanno aperto la strada allo sviluppo di nuove terapie basate sul DNA. Gli avanzamenti più recenti hanno consentito l'approvazione di alcuni farmaci a DNA, ma queste innovazioni stanno sollevando anche questioni etiche e di equità nell'accesso alle cure.

L'arcipelago galattico

di Caleb Scharf

Perché non abbiamo avuto contatti con gli alieni? Forse una spiegazione è che la Terra si trova in una regione troppo periferica della Via Lattea, trascurata dalle ondate di esplorazione interstellare di civiltà extraterrestri avanzate.



LE SCIENZE S.p.A.

Sede legale: Via Cristoforo Colombo 90,
00147 ROMA.

Redazione: tel. 06 49823181
Via Cristoforo Colombo 90, 00147 Roma
e-mail: redazione@lescienze.it
www.le Scienze.it

Direttore responsabile
Marco Cattaneo

Redazione
Claudia Di Giorgio (caporedattore),
Giovanna Salvini (caposervizio grafico),
Andrea Mattone (grafico),
Cinzia Sgheri, Giovanni Spataro

Collaborazione redazionale
Folco Claudì, Gianbruno Guerrieri

Segreteria di redazione:
Andrea Lignani Marchesani
Progetto grafico: Giovanna Salvini

Referente per la pubblicità
A. Manzoni & C. S.p.A.
agente Daria Orsi (tel. 02 57494475, 345 4415852)
e-mail dorsi@manzoni.it

Pubblicità:
A. Manzoni & C. S.p.A.
Via Nervesa 21, 20139, Milano,
telefono: (02) 574941

Stampa
Puntoweb, Via Variante di Cancelliera, snc,
00040 Ariccia (RM).

Consiglio di amministrazione
Corrado Corradi (presidente), Michael Keith
Florek (vice presidente), Gabriele Acquistapace,
Markus Bossle, Stefano Mignanega

Responsabile del trattamento dati
Il responsabile del trattamento dei dati raccolti
in banche dati di uso redazionale è il direttore
responsabile a cui è possibile rivolgersi
scrivendo a privacy@lescienze.it per i diritti
previsti dal Regolamento (UE) 2016/679 sulla
protezione dei dati personali.

Registrazione del Tribunale di Milano n. 48/70
del 5 febbraio 1970.

Rivista mensile, pubblicata da Le Scienze S.p.A.
Printed in Italy - gennaio 2020

Copyright © 2020 by Le Scienze S.p.A.
ISSN 2499-0590

Tutti i diritti sono riservati.
Nessuna parte della rivista può essere riprodotta,
rielaborata o diffusa senza autorizzazione scritta
dell'editore. Si collabora alla rivista solo su invito
e non si accettano articoli non richiesti.

SCIENTIFIC AMERICAN

Acting Editor in Chief
Curtis Brainard

President
Dean Sanderson

Executive Vice President
Michael Florek

Hanno collaborato a questo numero
Per le traduzioni: Silvia Baldi: *Quale futuro per la
terapia fagica?*; Francesca Bernardis: *I ragazzi
stanno bene, Un volto dalle profondità del tempo*;
Eva Filoramo: *Conservare l'ambiente dopo un
conflitto*; Daniele Gewurz: *Fuga da un buco nero*,
Misurare la disuguaglianza.

Notizie, manoscritti, fotografie, e altri materiali
redazionali inviati spontaneamente al giornale
non verranno restituiti.

In conformità alle disposizioni contenute nell'articolo 2
comma 2 del «Codice Deontologico relativo al trattamento
dei dati personali nell'esercizio dell'attività giornalistica ai
sensi dell'Allegato A del Codice in materia di protezione dei
dati personali ex d.lgs. 30 giugno 2003 n.196», Le Scienze
S.p.A. rende noto che presso la sede di Via Cristoforo Colombo,
90, 00147, Roma esistono banche dati di uso redazionale.
Per completezza, si precisa che l'interessato, ai fini dell'esercizio
dei diritti riconosciuti dall'articolo 7 e seguenti del d.
lgs.196/03 - tra cui, a mero titolo esemplificativo, il diritto di
ottenere la conferma dell'esistenza di dati, la indicazione
delle modalità di trattamento, la rettifica o l'integrazione dei
dati, la cancellazione ed il diritto di opporsi in tutto od in
parte al relativo utilizzo - potrà accedere alle suddette banche
dati rivolgendosi al Responsabile del trattamento dei
dati contenuti nell'archivio sopraindicato presso la Redazione
di Le Scienze, Via Cristoforo Colombo, 90, 00147 Roma.

ABBONAMENTI E ARRETRATI GEDI Distribuzione S.p.A.

Per informazioni sulla sottoscrizione di abbonamenti
e sulla richiesta di arretrati telefonare
al numero 0864.256266 o scrivere a
abbonamenti@gedidistribuzione.it o
arretrati@gedidistribuzione.it
Fax 02.26681986.

Italia	
abb. annuale	€ 39,00
abb. biennale	€ 75,00
abb. triennale	€ 99,00
copia arretrata	€ 9,00
Estero	
abb. annuale Europa	€ 52,00
abb. annuale Resto del Mondo	€ 79,00



Accertamento
diffusione stampa
certificato
n. 8593 del 18/12/2018

OGNI MESE LE FRONTIERE DELLA SCIENZA A CASA TUA

ABBONATI A LE SCIENZE CON QUESTA IMPERDIBILE PROPOSTA SPECIALE

Più aumenta la durata, più aumentano i vantaggi

- **Risparmio esclusivo**
con sconti fino al 44%
- **Consegna a domicilio**
e non perdi neppure un numero
- **Archivio senza limiti**
dal 1968 su www.lescienze.it



1 ANNO
€39,00
~~€58,80~~

SCONTO
del **34%**

2 ANNI
€75,00
~~€117,60~~

SCONTO
del **36%**

3 ANNI
€99,00
~~€176,80~~

SCONTO
del **44%**

Collegati al sito www.ilmioabbonamento.gedi.it
o telefona al numero 0864.25.62.66

le Scienze
edizione italiana di Scientific American

Premio Nazionale

GiovedìScienza

9ª EDIZIONE

La scienza raccontata da chi la fa

In occasione della 34ª edizione del ciclo di conferenze GiovedìScienza, l'Associazione CentroScienza Onlus presenta la nuova edizione del Premio GiovedìScienza dedicato ai ricercatori under 35 di tutta Italia. Per i partecipanti è una preziosa occasione per divulgare i risultati della propria ricerca. Il merito scientifico è la base di valutazione per selezionare i 10 finalisti: un vero e proprio match a colpi di immagini e parole decreterà il vincitore. Un bando, 4 premi in denaro e l'opportunità di raccontare il proprio lavoro al grande pubblico.

**CANDIDATURE ENTRO
28 FEBBRAIO 2020**

Bando e regolamento
www.giovediscienza.it

Per informazioni
premio@centroscienza.it

GUARDIAMO OLTRE



Con il sostegno della



Con il contributo di



L'iniziativa si svolge
nell'ambito del



In collaborazione con

